

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského  
inženýrství

Hodnocení a zpracování EGG signálu  
Evaluation and processing of EGG signal

2019

Bc. Jana Koštuříková

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jana Košťuríková**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství  
Téma: **Hodnocení a zpracování EGG signálu**  
**Evaluation and Processing of EGG Signal**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Nastudování principů snímání elektrické aktivity žaludku.
2. Nastudování principů a manifestace EGG signálu.
3. Rešerše metod a zásad pro snímání EGG signálu.
4. Rešerše metod pro zpracování EGG signálu.
5. Design a realizace experimentálních měření EGG signálu.
6. Design a realizace datové báze EGG signálů pro variantní aktivitu žaludku.
7. Design a realizace algoritmů pro filtraci EGG signálu.
8. Design a realizace algoritmů pro časově-frekvenční analýzu EGG signálu.
9. Testování a evaluace navržených algoritmů na reálných EGG signálech.
10. Návrh graficko-uživatelského rozhraní pro analýzu EGG signálů.
11. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] THEIS, Fabian J a Anke MEYER-BÄSE. *Biomedical signal analysis: contemporary methods and applications*. Cambridge, Mass.: MIT Press, c2010. ISBN 9780262013284.
- [2] BRUCE, Eugene N. *Biomedical signal processing and signal modeling*. New York: Wiley, c2001. ISBN 0-471-34540-7.
- [3] KOCH, Kenneth L a Robert Morris STERN. *Handbook of electrogastrography*. New York: Oxford University Press, 2004. ISBN 0-19-514788-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kubíček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



---

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jana Kubíčka, Ph.D. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....*Koštuřiková*.....

Jana Koštuříková

V Ostravě dne 15. dubna 2019

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Kubíčkovi, Ph. D. za jeho cenné rady a připomínky stejně tak jako za odborné konzultace. Dále pak všem dobrovolníkům z Ostravské univerzity i VŠB–TUO, jež podstoupili měření a díky kterým jsem měla k dispozici EGG data. Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při celém studiu.

## Abstrakt

Cílem této diplomové práce je filtrace elektrogastrogramu (provedeno pomocí vlnkové transformace), nalezení EGG trendu, následná aplikace algoritmu pro časově-frekvenční analýzu a zhodnocení dostupných dat. Ať už u filtrace či časově-frekvenční analýzy bylo nutno otestovat různá nastavení. U vlnkové transformace to byla např. mateřská vlnka, stupeň dekompozice, prahování atp. U časově-frekvenční analýzy, jež byla prováděna pomocí krátkodobé Fourierovy transformace např. typ okenní funkce, délka „okna“ a jeho překrytí.

Vytvořené algoritmy byly aplikovány na data ze 2 zdrojů: ze dvou nebo čtyř-kanálového snímání EGG. Při 2-kanálovém snímání se testovaly 3 subjekty (v práci často označovány jako „pacienti“) se třemi druhy testovacích jídel (jogurt, omeleta s chlebem a steak). Při 4-kanálovém snímání se testovalo 5–6 dobrovolníků se dvěma druhy jídel (smetanový jogurt, sendvič).

V poslední části práce bylo vytvořeno graficko-uživatelské rozhraní pro demonstraci nastavení vhodných parametrů pro filtraci i časově-frekvenční analýzu.

## Klíčová slova

Elektrogastrografie, vlnková transformace, mateřská vlnka, časově-frekvenční analýza, krátkodobá Fourierova transformace, MATLAB

## Abstract

The aim of this diploma thesis is filtering of electrogastrogram (used wavelet transform) to find trend of electrogastrogram, subsequent application of algorithm for time-frequency analysis and evaluation of available data. Whether for filtration or time-frequency analysis, different settings had to be tested. For the wavelet transform, there was, for instance, a mother wavelet, a degree of decomposition, thresholding etc. For time-frequency analysis, which was carried out by short-time Fourier transform, for instance, the type of window function, the length of the „window“ and its overlap.

The algorithms were applied to data from 2 sources: 2 or 4-channels measuring system for EGG. For 2-channels system, 3 subjects are tested (in this thesis are named like „patients“) with 3 testing food (yoghurt, omelette with bread and steak). For 4-channels system, 5–6 volunteers were tested with 2 type of testing food (creamy yoghurt and sandwich).

In the last part of thesis was created graphical interface for demonstration of suitable parameters for filtration and time-frequency analysis.

## Key words

Electrogastrography, wavelet transform, mother wavelet, time-frequency analysis, short-time Fourier transform, MATLAB

# Obsah

Seznam ilustrací a tabulek.....	9
1 Úvod.....	12
2 Anatomie GITu .....	13
2.1 Obecná stavba trávicí trubice .....	13
2.2 Cavitas oris.....	14
2.3 Pharynx .....	14
2.4 Oesophagus .....	14
2.5 Gaster .....	14
2.6 Intestinum tenue .....	15
2.7 Intestinum crassum.....	15
2.8 Pancreas.....	16
2.9 Hepar a žlučové cesty.....	16
3 Fyziologie GITu .....	17
3.1 Elektrické projevy činnosti hladkých svalů.....	17
3.2 Motorické funkce žaludku.....	18
3.3 Žaludeční sekrece .....	19
4 Patofyziologie GITu.....	20
4.1 Patofyziologie jícnu.....	20
4.2 Patofyziologie žaludku .....	20
4.3 Patofyziologie střev.....	21
5 Zdravá výživa.....	23
6 Elektrogastrografie .....	25
6.1 Myoelektrická aktivita žaludku .....	26
6.2 Snímání EGG .....	26
6.3 Manifestace EGG .....	27
7 Rešeršní část.....	29
7.1 Elektrogastrografie u pokusných prasat – analýza amplitud .....	29
7.2 Experimentální elektrogastrografie .....	31
7.3 Elektrogastrografie: metodologie, validace a aplikace .....	34
7.4 Užitečnost čtyř-kanálového EGG systému s probíhající spektrální analýzou.....	38
8 Design a realizace experimentálních měření EGG signálu .....	42
8.1 Podmínky měření a postup.....	42

9	Preprocessing .....	44
9.1	Vlnková transformace .....	47
9.1.1	Mateřský wavelet .....	50
9.1.2	Testování parametrů pro WT v MATLABu.....	52
9.2	Mediánový filtr.....	61
10	Časově-frekvenční analýza .....	63
10.1	Okenní funkce .....	63
10.2	Testování parametrů pro časově-frekvenční analýzu v MATLABu .....	65
11	Graficko-uživatelské rozhraní .....	71
	Závěr .....	73
	Seznam literatury .....	75
	Seznam příloh .....	78



## Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: GIT. [1].....	13
Obrázek 2: Hlavní a funkční úseky gastru: 1) jícen, 2) pars cardiaca, 3) fundus gastricum, 4) corpus gastricum, 5) antrum pyloricum, 6) canalis pyloricus, 7) pars superior duodeni, 8) incisura cardiaca, 9) incisura angularis, 10) sulcus intermedius, 11) pylorus, 12) curvatura minor, 13) curvatura major, 14) incisura major, 15) ostium cardiacum, 16) ostium pyloricum. [1].....	14
Obrázek 3: Pacemakerová oblast. [4].....	18
Obrázek 4: Mísící funkce žaludku. [4].....	19
Obrázek 5: Česká potravinová pyramida. [7].....	24
Obrázek 6: Elektrogastrogram zaznamenaný od zdravého pacienta před a po snídani (džus, cereálie se studeným mlékem, 2 toasty s máslem a džemem, káva). Před snídaní jsou zaznamenány malé amplitudy s frekvencí 1–2 cpm. Snímání započalo 5 min po jídle, amplituda se zvýšila, rovněž frekvence na 3 cpm. [11].....	25
Obrázek 7: Rozmístění elektrod pro perkutánní EGG podle Smithe a Haina. [10] .....	26
Obrázek 8: Elektrická aktivita žaludku typu ECA a ERA zaznamenaná intracelulárně u buněk žaludečního svalstva in vitro. [10].....	26
Obrázek 9: Uspořádání EGG u experimentálního prasete. ....	32
Obrázek 10: Zátěžový test po podání 500 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).....	33
Obrázek 11: Zátěžový test po podání 1000 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).....	33
Obrázek 12: Zátěžový test po podání 1500 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).....	33
Obrázek 13: A) Záznam pomalých vln měřených serózními elektrodami (vrchní 4 kanály) a abdominálními povrchovými elektrodami (spodní 4 kanály). B) Výkonové spektrum interního a externího snímání. Třetí maximum ve spodní části spektra indikuje frekvenci intestinální pomalých vln. H – harmonická složka. ....	37
Obrázek 14: Umístění elektrod na abdomenu. ....	39
Obrázek 15: Normální elektrogastrogram ze všech 4 kanálů.....	40
Obrázek 16: Normální 2D spektrum ze všech 4 kanálů (vlevo), typické 3D RSA pacienta (bradygastrie, vpravo). ....	40
Obrázek 17: Umístění žaludku: A) normální, B) abnormální. ....	41
Obrázek 18: Měřicí řetězec navržený v programu MATLAB – Simulink.....	42
Obrázek 19: Dobrovolník s 4-kanálovým EGG. ....	43
Obrázek 20: Algoritmus pro filtraci EGG signálu. ....	44
Obrázek 21: Algoritmus pro odstranění otvírání/zavírání dveří.....	45
Obrázek 22: Ukázka eliminace artefaktu otvírání/zavírání dveří – vyznačen červeně. Nahoře je signál původní (nasnímaný), ve spodní části signál s odstraněným artefaktem. ....	45
Obrázek 23: Demonstrace eliminace artefaktu otvírání/zavírání dveří – vyznačen červeně. Nahoře je signál původní (nasnímaný), ve spodní části signál s odstraněným artefaktem. ....	46
Obrázek 24: Korekce izolinie EGG signálu. Nahoře – původní signál, dole již s korekcí izolinie. ....	46
Obrázek 25: Ukázka korekce izolinie EGG signálu. Nahoře – původní signál, dole již s korekcí izolinie. ....	47

Obrázek 26: Mateřské vlnky. [15, 16].....	48
Obrázek 27: Kmitočtový pohled na DWT. [17].....	49
Obrázek 28: Dvojková mřížka v prostoru čas-měřítko. [17].....	50
Obrázek 29: Vlnka Daubechies 1–10. [22] .....	51
Obrázek 30: Wavelet Toolbox .....	51
Obrázek 31: Ukázka testování řádu 10 vlnky Daubechies při stupni rozkladu 5 – zobrazení originálního signálu, aproximačního koeficientu a detailních koeficientů. ....	52
Obrázek 32: Signál po aplikaci WT s rozdílným stupněm rozkladu (odshora level 2, 5 a 10). ....	52
Obrázek 33: Signál (stejný jako předchozí) po aplikaci WT s rozdílným stupněm rozkladu (odshora level 2, 5 a 10). ....	53
Obrázek 34: Ukázka dekompozice (odshora 2, 5, 10) dalšího signálu. ....	53
Obrázek 35: Původní signál (nahore) s postupně narůstajícím Gaussovským bílým šumem. ....	54
Obrázek 36: Průměry korelací signálů s použitím jednotlivých vlnek při odlišných výkonech zašumění. ....	57
Obrázek 37: Mediány korelací signálů s použitím jednotlivých vlnek při odlišných výkonech zašumění. ....	57
Obrázek 38: Zobrazení všech aplikovaných prahovacích pravidel (Db10). ....	58
Obrázek 39: Aplikace měkkého (nahore) a tvrdého (dole) prahování. ....	59
Obrázek 40: Zobrazení všech nastavení pro multiplikativní změnu měřítka prahování (Db10). ....	59
Obrázek 41: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahore je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 10, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrováný s vyznačeným EGG trendem. ....	61
Obrázek 42: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahore je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 5, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrováný s vyznačeným EGG trendem. ....	62
Obrázek 43: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahore je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 2, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrováný s vyznačeným EGG trendem. ....	62
Obrázek 44: Okenní funkce Hamming s frekvenční odezvou. [25] .....	63
Obrázek 45: Okenní funkce Hann s frekvenční odezvou. [25] .....	64
Obrázek 46: V horní části je signál v časové doméně po WT (Db10, level = 5, soft...), v části spodní je spektrogram (Hann, délka „okna“ 512, překryv 384). ....	64
Obrázek 47: Průměry a mediány korelací spekter po STFT s funkcí Hann při odlišných výkonech zašumění.....	65
Obrázek 48: Průměry a mediány korelací spekter po STFT s funkcí Hamming při odlišných výkonech zašumění.....	65
Obrázek 49: Časově frekvenční analýza signálu nevyfiltrovaného WT (Hamming, délka „okna“ 512, překryv 384). ....	66
Obrázek 50: Časově frekvenční analýza signálu vyfiltrovaného WT (Hamming, délka „okna“ 512, překryv 384). ....	66
Obrázek 51: Výkon v čase před a po požití jogurtu. ....	69
Obrázek 52: Výkon v čase před a po požití omelety s chlebem.....	69
Obrázek 53: Výkon v čase před a po požití steaku. ....	69
Obrázek 54: Demonstrace největšího výkonu na EGG frekvenci ze spektrogramu. ....	70

Obrázek 55: Informační hláška při spuštění programu. ....	71
Obrázek 56: Náhled na celé graficko-uživatelské rozhraní pro zpracování elektrogastrogramu. ....	71
Obrázek 57: Ukázka zpracování elektrogastrogramu programem EGG_analysis. ....	72
Tabulka 1: Hodnocení EGG záznamu. ....	28
Tabulka 2: Analýza výkonu pro všechny typy vyšetření. ....	30
Tabulka 3: Přehled AMI pro všechny typy vyšetření. ....	30
Tabulka 4: Přehled CMAI pro všechny typy vyšetření. ....	31
Tabulka 5: Procentuální shoda ve 3 cpm mezi nejlepším kanálem a komerčním 1-kanálovým systémem u normálního subjektu. ....	41
Tabulka 6: EGG databáze. ....	44
Tabulka 7: Hodnocení korelace. [19] ....	55
Tabulka 8: Evaluace původního signálu a zatíženého šumem po WT s mateřskou vlnkou Daubechies 10, stupněm rozkladu 5. ....	56
Tabulka 9: Průměry výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem. ....	67
Tabulka 10: Mediány výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem. ....	67
Tabulka 11: Rozptyly výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem. ....	68
Tabulka 12: Směrodatné odchylky výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem. ....	68

# 1 Úvod

Elektrogastrografie (EGG) je diagnostická metoda, při které se sleduje myoelektrická aktivita žaludku. Podle způsobu uložení elektrod se rozlišuje invazivní a neinvazivní snímání. Při invazivní monitoraci se elektrody kladou do bezprostřední blízkosti svaloviny gastru a může se jednat o serózní či mukózní vyšetření. U neinvazivního zaznamenávání elektrogastrogramu se elektrody ukládají na stěnu břišní, jedná se o perkutánní snímání. Abdominální vyšetření je oblíbeno hlavně svým neinvazivním přístupem a nízkou cenou. Tato metoda se jeví přínosnou hlavně u pacientů s diabetem, jež často trpí gastroparézou, což se projevuje především bradygastrií (více v podkapitolách 7.3, 7.4).

Rozmístění elektrod, doba snímání, podávaná strava není dosud standardizována, a proto je zde velký prostor pro různé chyby jak ve snímání, tak ve zpracování signálu a následné nesprávné interpretaci. Pro určení diagnózy nestačí pouze vizuální pohled na elektrogastrogram jako to je např. u elektrokardiogramu, je nutno signál předzpracovat a použít algoritmy pro spektrální analýzu, ze které můžeme určit např. dominantní frekvenci, dominantní výkon a tak podobně (viz 7.3).

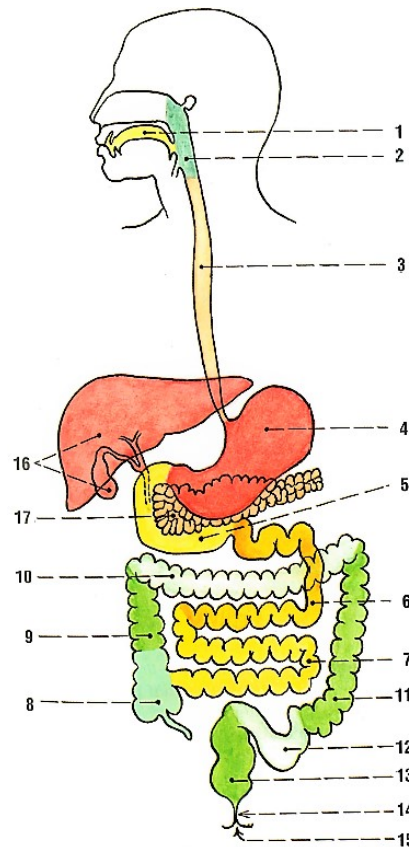
V této práci se preprocessingu týká hlavně eliminace EKG záznamu pomocí vlnkové transformace (*wavelet transform*, WT) s neoptimálnější mateřskou funkcí s vhodnými parametry. Signál je následně zkoumán díky krátkodobé Fourierově transformaci (*short-time Fourier transform*, STFT) umožňující časově-frekvenční analýzu. Bylo zrealizováno experimentální měření pomocí g.USBamp od firmy g.tec, měřilo se 6 dobrovolníků se dvěma testovacími potravinami.

První kapitoly patří anatomii, fyziologii a patofyziologii gastrointestinálního traktu (GITu) včetně malého zabřednutí do zdravé výživy. Následuje část snímání elektrické aktivity žaludku, manifestace EGG signálu. Dále pak řešerská část, která se týká hlavně metod a zásad pro snímání EGG i jeho zpracování. Jak již bylo zmíněno, byl navržen design a realizace experimentálního měření. Poté následuje předzpracování záznamů, časově-frekvenční analýza s různým testováním a doporučením vhodných parametrů. Předposlední kapitola je věnována návrhu graficko-uživatelského rozhraní pro analýzu EGG signálů, a nakonec jsou zhodnoceny všechny dosažené výsledky.

## 2 Anatomie GITu

Trávicí soustava (*lat. systema digestorium*) slouží ke zpracovávání živin a jejich vstřebávání. Potrava prochází trávicím traktem, kde dochází k jejímu rozmělnění a chemickému rozkladu na látky jednodušší. Gastrointestinální trakt (GIT, Obrázek 1) je tvořen z:

1. dutiny ústní (*lat. cavitas oris*),
2. hltanu (*lat. pharynx*),
3. jícnu (*lat. oesophagus*),
4. žaludku (*lat. ventriculus*, řecky *gaster*),
5. tenkého střeva (*lat. intestinum tenue*) – dvanáctník (*lat. duodenum*), lačník (*lat. jejunum*), kyčelník (*lat. ileum*),
6. tlustého střeva (*lat. intestinum crassum*) – slepé střevo a červovitý výběžek (*lat. caecum et appendix vermiformis*), vzestupný tračník (*lat. colon ascendens*), příčný tračník (*lat. colon transversum*), sestupný tračník (*lat. colon descendens*), esovitá klička (*lat. colon sigmoideum*),
7. konečníku (*lat. rectum*) – rectum v užším smyslu (*lat. ampulla recti*), řitní kanál (*lat. canalis analis*), řiť (*lat. anus*),
8. jater (*lat. iecur*, řecky *hepar*) a žlučových cest,
9. slinivky břišní (*lat. pancreas*). [1, 2]



Obrázek 1: GIT. [1]

### 2.1 Obecná stavba trávicí trubice

Stěny trávicí trubice mají čtyři vrstvy, z vnitřku navenek: sliznice (*lat. tunica mucosa*), podslizniční vazivo (*lat. tela (tunica) submucosa*), svalovina (*lat. tunica muscularis*) a povrchová vnější vrstva (na hltanu *tunica adventitia*, v pobřišnicové dutině *tunica serosa*). [1]

*Tunica mucosa* vystýlá celou trubici jako měkká, růžová až červená vrstva, která může vytvářet řasy (*lat. plicae*) nebo menší papily (*lat. papillae*), v tenkém střevě pak klky (*lat. villi*). Obvykle je pokrytá hlenem (*lat. mucus*). Na povrchu se nachází epitel, pod ním je slizniční vazivo. Na rozhraní slizničního a podslizničního vaziva je v některých úsecích malá vrstva hladké svaloviny. Slizniční vazivo s hladkou svalovinou zajišťují posunlivost sliznice vůči dalším vrstvám. [1]

*Tela (tunica) submucosa* představuje řidší vrstvu kolagenního vaziva s bohatým cévním i mízním řečištěm. Je zde pletěň nervová. [1]

*Tunica muscularis* je na začátku z příčně pruhované svaloviny (*cavitas oris*, *pharynx* a část *oesophagu*), dále pak ze svaloviny hladké. Na samém konci při análním otvoru opět přistupuje svalovina příčně pruhovaná (svěrač, *lat. musculus sphincter*). Svalovina se většinou dělí na vnitřní (*lat. stratum circulare*) a vnější (*lat. stratum longitudinale*) vrstvu. V tenké vrstvě vaziva mezi

cirkulární a podélnou svalovinou je nervová pleteň, která ovlivňuje hybnost střeva. Na žaludku ke dvěma typickým vrstvám svaloviny přistupuje další, šikmá, z hloubky od submukosy. [1]

Povrchová vnější vrstva je v oddílech trávicí trubice uložených mimo pobřišnicovou dutinu tvořena vazivem (viz výše). [1]

## 2.2 Cavitas oris

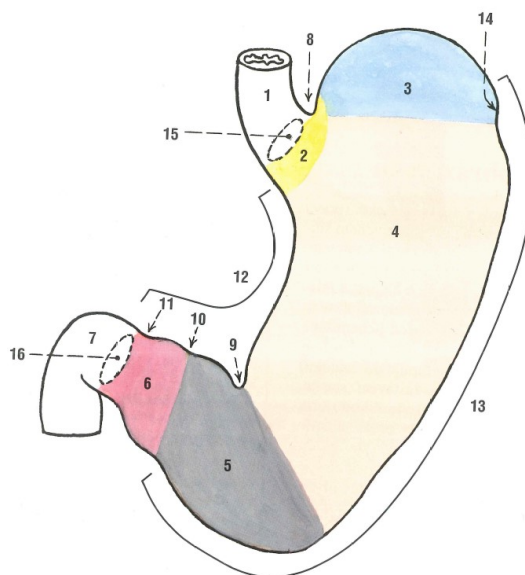
Dutina ústní začíná jako štěrbina ústní (*lat. rima oris*) a sahá až k úžině hltanové (*lat. isthmus faucium*). Vpředu a zevně tvoří ohraničení dutiny ústní rty (*lat. labia oris*), tváře (*lat. buccae*), patro (*lat. palatum*), spodina úst. Uprostřed spodiny ústní je jazyk (*lat. lingua*), na který sliznice spodiny úst přechází. Předšíť dutiny ústní (*lat. vestibulum oris*) představuje část mezi tvářemi a zubními oblouky horní a dolní čelisti s dásněmi (*lat. gingiva*), vlastní dutina ústní (*lat. cavitas oris propria*) se nachází směrem dozadu od zubů (*lat. dentes*) a dásní. [1]

## 2.3 Pharynx

Hltan je trubice, jež je kraniálně slepě zakončená klenbou, kaudálně se hltan mírně zužuje a sahá do výše krčního obratle C6. Zepředu se do hltanu otvírají tři další prostory: dutina nosní, dutina ústní a vchod do hrtanu (*lat. larynx*) s hrtanovou příklopkou (*lat. epiglottis*). Dle zmíněných prostor se hltan dělí na 3 základní etáže: *nasopharynx*, *oropharynx*, *laryngopharynx*. [1]

## 2.4 Oesophagus

Jícen je trubice dlouhá asi 25 cm navazující na hltan ve výši obratle C6 a dolního okraje hrtanu (prstencové chrupavky), sestupuje hrudníkem před páteří, kde ve výši obratle Th10 prochází skrze *hiatus oesophageus* bránice (*lat. diaphragma*) a ve výši Th11 končí vústěním do žaludku (*lat. ostium cardiacum*). V klidu má jícen průměr asi 1.5 cm. Je předozadně zploštěn, nad bránicí mírně vřetenovitě rozšířen. Stěny na sebe naléhají a při průchodu sousta se může roztáhnout až na dvojnásobný průměr. [1]



Obrázek 2: Hlavní a funkční úseky gastru: 1) jícen, 2) pars cardiaca, 3) fundus gastricus, 4) corpus gastricum, 5) antrum pyloricum, 6) canalis pyloricus, 7) pars superior duodeni, 8) incisura cardiaca, 9) incisura angularis, 10) sulcus intermedius, 11) pylorus, 12) curvatura minor, 13) curvatura major, 14) incisura major, 15) ostium cardiacum, 16) ostium pyloricum. [1]

## 2.5 Gaster

Žaludek navazuje na jícen jako rozšířený úsek trávicí trubice fungující jako rezervoár potravy. Dochází zde ke příjmu potravy a předběžně zpracovanou ji předává do tenkého střeva. Gaster je uložen v dutině břišní pod levou brániční klenbou. Zakřivení jeho levého okraje ležící konvexně doleva dolů se latinsky nazývá *curvatura major*, zakřivení pravého okraje zase *curvatura minor*, které je obráceno konkavitou doprava nahoru (viz Obrázek 2). [1]

Česlo (*lat. cardia*) je vústění jícnu shora do žaludku při malém zakřivení. Vrátník (*lat. pylorus*) je zúženým místem, kde uzavíratelným průchodem navazuje na duodenum. Hlavní část žaludku je tvořena třemi částmi, a to:

- *fundus gastricus*, což je horní a nejširší úsek, kraniálně proti bránici slepě zakončený vyklenutím (žaludeční klenbou, *lat. fornix gastricus*), jež obvykle obsahuje bublinu vzduchu z požitě potravy, napravo při fundu do žaludku ústní jícen.
- *Corpus gastricum*, tělo žaludku, které pokračuje sestupně od fundu kaudálně a doprava.
- *Pars pylorica*, distální nejužší úsek, mírně vzestupný přecházející v duodenum. [1]

Tvar žaludku je proměnlivý nejen individuálně, ale rovněž podle množství náplně a polohy těla. Rozlišují se dva základní typy: žaludek hákovitý (sifonový) ve tvaru písmene J a žaludek ve tvaru býčího rohu, který je šikmo uložený a plynuje se zužující. [1]

Přední plocha gastru naléhá na spodní plochu jater, na levou klenbu brániční, na přední stranu břišní. Zadní plocha gastru naléhá na bránici, na levou nadledvinu a na levou ledvinu, na pankreas, na slezinu, na *mesocolon transversum* (a *colon transversum*). Dolní okraj velké kurvatury naléhá na *colon transversum*. [1]

Závěsy žaludku jsou dvojlisty pobřišnice, jež pokračují ze serózního povlaku žaludku do obou kurvatur jako součásti původního předního a zadního mesogastria. Tyto závěsy spojují žaludek s okolím a v nich k zakřivením vedou cévy žaludku. [1]

Velikost žaludku je variabilní, u prázdného činí délka kolem 25 cm, šířka při fundu 3–5 cm, při pyloru 1.5 cm. Hmotnost je asi 130 g. Rozměry se zvětšují úměrně množství náplně. Objem žaludku tedy individuálně kolísá, průměrně má 1 l. Od narození dochází ke zvětšování žaludku, novorozenec má vysoký tonus stěny (délka kolem 5 cm, maximální šířka 3 cm, objem 20 až 40 cm<sup>3</sup>), objem je po dvou týdnech života dvojnásobný, po jednom roce života desetinásobný a od 6 let 1 l. [1]

## 2.6 Intestinum tenue

Tenké střevo je trubice navazující na žaludek, má průměr kolem 3–4 cm. V délce střeva jsou rozdíly individuální i věkové, proto se uvádí v rozmezí 3–5 m. U mrtvého člověka po uvolnění tonu ve svalovině může mít až 7 m. Probíhá zde poslední etapa enzymatického štěpení potravy. [1]

*Duodenum* je nejkratší úsek měřící 20–28 cm, jež je přirostlý k zadní straně břišní. Je podkovovitého tvaru a na něj navazuje *jejunum* a *ileum*. Tyto části jsou již volně pohyblivé a složeny v četné kličky vyplňující většinu prostoru břicha pod játry, žaludkem a příčným tračníkem tlustého střeva. Jsou připojeny závěsem, peritoneální duplikaturou, k zadní stěně břišní. Okružní (*lat. mesenterium*), je závěs lačnicku a kyčelníku. [1]

## 2.7 Intestinum crassum

Tlusté střevo je poslední částí trávicí trubice, jenž přijímá z tenkého střeva kašovité až tekuté obsah, ze kterého byly v tenkém střevě vstřebány živiny. Tento úsek je dlouhý 1.3–1.7 m, široký od 7.5 cm do 4 cm. V tlustém střevu dochází ke vstřebávání vody a elektrolytů, obsah je formován ve stolici, která je odstraněna v posledním úseku análním otvorem. Stálou součástí střevního obsahu jsou

mikroorganismy způsobující kvasné a hnilobné procesy. Některé střevní bakterie produkují vitamín K. [1]

## 2.8 Pancreas

Slinivka břišní zahrnuje v jednom útvaru 2 orgány: exokrinní a endokrinní žlázu. Exokrinní žláza (s vnější sekrecí) vysílá svůj sekret s trávicími enzymy do tenkého střeva. Endokrinní žlázu (s vnitřní sekrecí) tvoří asi 1–2 miliony drobných, asi půlmilimetrových i menších buněčných ostrůvků, zvaných Langerhansovy ostrůvky, které jsou roztroušeny v exokrinní tkáni. Odpovídají za zhruba 1.5 % objemu celé slinivky břišní. [1]

Tento orgán je z vnější strany šedě růžový s patrnou kresbou lalůčků. Jeho délka činí 12–16 cm, hmotnost má 60–90 g a táhne se za žaludkem napříč po zadní straně břišní od duodena až ke slezině. Má 3 hlavní úseky: *caput pancreatis*, *corpus pancreatis* a *cauda pancreatis*. [1]

## 2.9 Hepar a žlučové cesty

Játra jsou svou stavbou největší exokrinní žlázou v těle, produkuje žluč (*lat. bilis, fel, řecky cholé*). Ta je předávána vývodními (žlučovými) cestami do tenkého střeva, kde se spojuje s produkty trávení tuků z potravy a dává vznik ve vodě emulgovaným komplexům, z nichž se lipidy snáze vstřebávají. [1]

Od 10. týdne až do konce 7. fetálního měsíce činí hmotnost jater až 10 % hmotnosti těla z důvodu krvetvorby. Krvetvorby poté postupně ubývá a při narození jsou v játrech pouze ostrůvky krvotvorné tkáně, poměr hmotnosti jater a těla klesá na polovinu. [1]

Kromě krvetvorby má *hepar* na starost řadu metabolických funkcí: jsou zde syntetizovány látky vstřebané ve střevu po rozštěpení přicházející portální vénou jako glykogen, plasmatické a sérové bílkoviny krve atd. Játra skladují sacharidy, tvoří ketolátky a účastní se různých mechanismů při řízení metabolismu sacharidů, účastní se na přípravě činnosti některých steroidních hormonů a na inaktivaci polypeptidových hormonů, tvoří močovinu, vykonávají důležité funkce v metabolismu tuků. Během intenzivních procesů látkové přeměny játra spotřebovávají kolem 12 % kyslíku z krve a krev odcházející z jater je těmito procesy ohřátá na teplotu přes 40 °C. *Hepar* má i významnou detoxikační funkci. V jeho cévním řečišti je umístěno velké množství fixních makrofágů. Játra jsou bohatě prokrvena v souladu se svou funkcí, za minutu proteče průměrně 1.5 l krve. [1]

Tvar jater lze připodobnit k segmentu širokého a vysokého, napříč postaveného ovoиду, přičemž segment je oddělen rovinou jdoucí šikmo zprava zdola doleva nahoru. *Facies diaphragmatica* se stýká s bránicí a *facies visceralis*, dolní část jater, je obrácená k břišním orgánům. Játra jsou rozdělena na laloky: *lobus dexter*, *lobus sinister*, *lobus quadratus* a *lobus caudatus*. [1]

Žluč je žlutohnědá tekutina na vzduchu zelenající, která je při výstupu jater tvořena asi 97 % vody. Ostatní složky tvoří žlučové soli, žlučové pigmenty, cholesterol, anorganické soli, mastné kyseliny, malé množství lecitinu, tuku a alkalické fosfáty. Intrahepatické žlučové cesty se sbírají od žlučových kapilár mezi buňkami trámců v jaterních lalůčkách přes Heringovy kanálky a interlobulární žlučovody postupně do portální vény. Extrahepatické žlučové cesty začínají v *porta hepatis* jako *ductus hepaticus dexter et sinister*. Spojením těchto vývodů vzniká *ductus hepaticus communis*, který se spojuje s vývodem žlučníku (*lat. ductus cysticus*) a vzniká *ductus choledochus*, jež vyúsťuje do duodena. [1]



### 3 Fyziologie GITu

Funkce gastrointestinálního traktu lze shrnout do čtyř základních dějů: **trávení** – což zahrnuje motilitu a sekreci, **vstřebávání** – přestup látek přes stěnu GITu, **skladování** – vyrovnání nárazového příjmu potravy, **vlastní imunitní systém** – společně s trávením likviduje mikroorganismy a rozrušuje se i antigenní struktura látek (ochranná funkce). [2, 3]

Trávením se sousto mění fyzikálním a chemickým působením orgánů a trávicích šťáv na tráveninu, chymus, a z ní na stolici. Trakt je řízen nervově, humorálně a přímým působením obsahu na stěnu. [2]

**Pohyby** vykonávající GIT lze rozdělit na 3 typy:

- **fragmentační** (dělicí),
- **mísící**,
- **propulzivní** (posunující, peristaltika v tenkém střevě je  $2\text{--}3\text{ cm.s}^{-1}$ ).

Výsledkem těchto pohybů je míchání a aborální<sup>1</sup> posun chymu. Tato aktivita v GITu vzniká v *plexus myentericus*, může být ovlivněna i aktivitou vegetativního nervstva a hormonálně. [2]

Uvedené pohyby nejsou jedinou aktivitou hladké svaloviny GITu. V tenkém střevě patří mezi rytmické pohyby důležité k trávení a vstřebávání také místní pohyby mísící vyvolané třetí svalové vrstvy, *muscularis mucosae*. Ta zabezpečuje pohyby sliznice (asi 3/min) a pohyby klků. Může jít o nezávislé pohyby klků nebo mohou být pohyby spouštěné po celých skupinách. Na řízení těchto pohybů se podílí hormon zvaný vilikinin. [2]

#### 3.1 Elektrické projevy činnosti hladkých svalů

Pro normální funkci je zapotřebí schopnost svalových buněk spontánně měnit transmembránový potenciál – vytvářet bazální elektrický rytmus (BER) označován jako pomalá vlna. Nezávisí to jen na nervových pleteních či hormonech. Tato *slow wave* nemusí být vždy spojena s motorickou činností příslušné části GITu. Rytmické kontrakce jsou ale vždy ve fázi s rytmem BER. Bazální elektrický rytmus je zřejmě myogenního původu. [2]

Frekvence vzniku vln BER se v jednotlivých částech liší:

- žaludek 3/min,
- *duodenum* 15–18/min,
- *ileum* o něco pomaleji než *duodenum*,
- *colon* 3/min.

Ve všech částech membránový potenciál osciluje u některých buněk o něco rychleji než u ostatních. Tyto buňky pak slouží jako pro ostatní jako pacemakery. Amplituda depolarizačních vln při klidovém membránovém potenciálu 65 mV BER se pohybuje okolo 10–15 mV. [2]

Hrotové potenciály (*spike*) jsou pravé akční potenciály nasedající na BER. Objevují se jen tehdy, jestliže hodnota BER dosáhne prahové hodnoty činící přibližně  $-40\text{ mV}$ . Depolarizace je způsobená

---

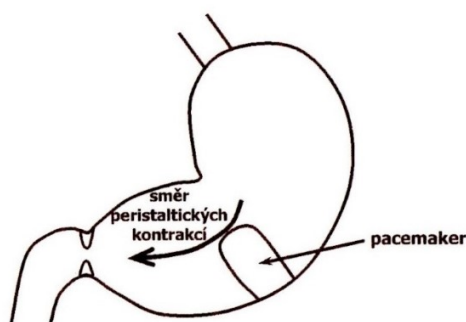
<sup>1</sup> opak orální; vzdálený od úst

proudem vápníku do buňky s menším příspěvkem sodíkového proudu. Repolarizace zase proudem draslíku z buňky. Čím více je membrána depolarizována, tím vyšší je frekvence akčních potenciálů. Kontrakce hladké svaloviny je přímo úměrná frekvenci hrotových potenciálů. [4]

### 3.2 Motorické funkce žaludku

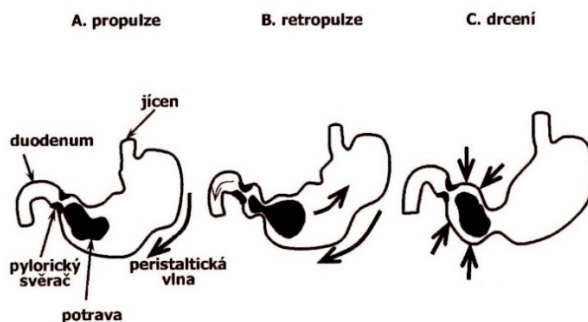
**Skladování potravy** – posun potravy z jícnu do žaludku, látky s vysokým obsahem tuku se ukládají nejvýše. Tekutiny pouze protékají po stěnách žaludku, zejména v oblasti malého zakřivení, rovnou do duodena. Tuhá potrava se ukládá v rovnoměrných koncentrických vrstvách od stěny do středu žaludku. Po jídle se objem žaludku pochopitelně zvětšuje, ale tlak uvnitř žaludku výrazně nestoupá. Je to díky plasticitě hladké svaloviny GITu, nejdříve se sice tonus zvýší, ale po několika minutách je hodnota přibližně stejná jako před protažením (vagovagální reflex). Bezprostředně po příjmu potravy žaludek neproazuje viditelnou motorickou aktivitu, tento stav trvá 30–60 min a je označován jako **žaludeční peristola**. [4]

**Mísicí funkce** – je rozměňování a dokonalé promíchání potravy se žaludeční šťávou (vznik chymu). Po odeznění žaludeční peristoly se na gastru začnou objevovat peristaltické pohyby vznikající na rozhraní mezi orální a kaudální částí žaludku (při velkém zakřivení) šířící se k duodenu. Nachází se zde tzv. **pacemakerová oblast** (viz Obrázek 3), ve které spontánně vznikají vlny BER. Její frekvenci se podřizují distálnější části žaludku, a proto se elektrické změny šíří aborálně. Elektrická aktivita hladké svaloviny vede ke vzniku peristaltických vln, přičemž se jejich intenzita a rychlost zvyšuje kaudálním směrem (propulze). Vlna přechází na pylorický svěrač, jež se kontrahuje. Tímto se obrátí směr pohybu chymu zpět do žaludku (retropulze). Díky kontrakci hladkého svalstva se ve stěně pyloru zmenší průsvit, což podporuje mechanické rozrušení potravy (drcení). Tyto tři děje se opakují a tím napomáhají k rozmělnění i promísení potravy. Orální část žaludku, která slouží jako rezervoár potravy je v této době ve stádiu tónické kontrakce a pomalu posouvá žaludeční obsah kaudálně. [4]



Obrázek 3: Pacemakerová oblast. [4]

**Vyprazdňování žaludku** – uplatňují se dvě protichůdné síly (peristaltika žaludku a kontrakce pylorického svěrače). Pylorický svěrač zabraňuje rychlému vyprazdňování žaludku a tím chrání střevní sliznici před kyselým pH žaludečního chymu. Rovněž brání refluxu duodenálního obsahu, čímž chrání žaludeční sliznici před žlučí. Pylorem prostoupí pouze ty částice, jež mají menší průměr než 2 mm. Čím je chymus řidší, tím snadněji postupuje do dvanáctníku. Pravidelné vstřikování malého objemu chymu se označuje jako **pylorická pumpa** (viz Obrázek 4). Vyprazdňování trvá v závislosti na konzistenci a složení potravy 1–6 hodin, potrava s vysokým obsahem sacharidů je vyprazdňována nejdříve, poslední s vysokým obsahem tuků. [4]



Obrázek 4: Mísící funkce žaludku. [4]

**Kontrola žaludečního vyprazdňování** – musí být regulována, aby nedocházelo k nedostatečnému trávení a k vylučování živin z těla se stolicí. Rovněž by nemělo docházet k hromadění potravy v žaludku. Uplatňují se zde nervové i humorální vlivy. [4]

**Žaludeční kontrola** – rychlost evakuace žaludku je ovlivňována zejména množstvím tráveniny, konzistencí potravy a složením potravy z hlediska živin. ENS (enterický nervový systém), který se nachází v žaludeční stěně, je součástí autonomního nervového systému. Podráždění mechanických receptorů a osmoreceptorů stimuluje peristaltiku. Parasympatikus stimuluje a sympatikus inhibuje motilitu žaludku. Dráždění receptorů žaludeční stěny vede ke zvýšené produkci gastrinu (stimuluje motilitu, zvyšuje aktivitu pylorické pumpy a tlak dolního jícnového svěrače, čímž brání refluxu zpět do jícnu). [4]

### 3.3 Žaludeční sekrece

Žlázy žaludeční sliznice vyprodukují 2 až 3 l žaludeční šťávy denně. Obsahuje vodu, elektrolyty ( $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ ), mucin, vnitřní faktor (glykoprotein, pro vstřebávání vitamínu  $B_{12}$ ) a enzymy. Pepsin je nejdůležitějším enzymem žaludeční šťávy podílející se na trávení bílkovin. Méně významné jsou gastrická lipáza, gelatináza (štěpení kolagenu) a chymosin (renin), který je významný pro trávení mateřského mléka. Množství žaludeční šťávy a její pH se mění v závislosti na příjmu potravy, mezi jídly je produkováno malé množství šťávy (neutrální) téměř bez HCl. Po jídle je produkce zvýšena, pH klesá až k 1 a obsahuje velké množství pepsinu (je aktivován díky HCl). Žlázy fundu a těla gastru dodávají hlavně HCl, dále jsou zde žlázy pylorické. [2, 4]

Kyselina chlorovodíková je tvořena parietálními (krycími) buňkami, buňky přítomné ve žlázkách ve sliznici.

1. Konvertuje pepsinogeny na pepsiny a tím je aktivuje.
2. Zajišťuje kyselé pH – optimální pro činnost pepsinů, chrání některé vitamíny (např. C).
3. Zabíjí většinu polykaných bakterií.
4. Převádí těžko rozpustný  $CaCO_3$  na rozpustný  $CaCl_2$ .
5. Pomáhá redukcí  $Fe^{3+}$  na vstřebatelnou formu  $Fe^{2+}$ , jež udržuje v roztoku.
6. Způsobuje bobtnání vaziva (depolymerace kolagenu), rozvolnění svalových snopečů.
7. Koaguluje bílkoviny, což usnadňuje enzymatický rozklad. [2]

## 4 Patofyziologie GITu

Příjem potravy může být dysfunkční na úrovni krátkodobého či dlouhodobého řízení. Příkladem je anorexie (nechutenství), která se objevuje u různých onemocnění. Typická je pro některá nádorová onemocnění a často dochází k chorobnému vyhubnutí (kachexie). Charakteristické omezení přijímání potravy je i u horečnatých onemocnění, zánětů, po chemoterapii nebo radiační terapii nádorů. Typickými příklady psychických poruch příjmu potravy jsou mentální anorexie, bulimie a záchvatové přejídání. *Anorexia nervosa* je onemocnění se zvyšující se incidencí. [9]

### 4.1 Patofyziologie jícnu

Snížení příjmu potravy může být způsobeno i problémem s polykáním včetně poruch jícnu. Jícen je uzavírán dvěma svěrači, horním (HES, z příčně pruhované svaloviny) a dolním (DES, z hladké svaloviny). Lze se zde setkat s:

- **odynofagii** – bolest při polykání v oblasti faryngu a tonzil,
- **dysfagii** – obtíže při polykání, dělí se do několika kategorií:
  - problémy v přesunu soust nebo tekutiny do jícnu (nervosvalové onemocnění),
  - poruchy klidového napětí HES (zvýšení nebo snížený tonus),
  - jícnová dysfagie – poruchy pohybu soust tělem jícnu způsobené poruchou peristaltiky,
  - dysfunkce DES působící problémy při přesunu z jícnu do žaludku,
- **achalázií** – vzácné onemocnění hladké svaloviny jícnu s poruchou relaxace DES a poškozenou peristaltikou,
- **divertikly** (výčlípkami),
- **korozivní ezofagitidou** – onemocnění spojené s požitím kyselin a louhů,
- **refluxní chorobou** v oblasti DES,
- **Malloryho-Weisovým syndromem** – roztržená sliznice v podslizniční části v blízkosti žaludku,
- **krvácením jícnových varixů** – obvyklá příčina je jaterní cirhóza,
- **atrézií jícnu** – vrozené zúžení. [9]

### 4.2 Patofyziologie žaludku

Za nefyziologický jev se pokládá **zvracení** (*lat. vomitus, řecky emesis*). *Vomitus* je společně i s prodromy<sup>2</sup> nevolnosti a dávení především obranným reflexem, ale i symptomem. Celý děj je řízen v prodloužené míše. Nejdříve se bránice fixuje v nádechové poloze, tím se sníží tlak v dutině hrudní a zvýší se v dutině břišní, pak následuje stah břišních svalů a současná kontrakce duodena. Kardie reflektoricky relaxuje a vysoký tlak vyvíjený na žaludek vtlačí jeho obsah do jícnu, vstup do hrtanu je uzavřen. Příčina zvracení může být přímo v trávicím traktu nebo i mimo něj (např. nepříjemné zrakové, chuťové nebo čichové podněty). Důležitou roli hraje chemoreceptorová spouštěcí zóna na spodině IV. komory reagující na:

---

<sup>2</sup> příznaky ohlašující příchod nemoci

- exotoxiny (léky a drogy),
- endotoxiny (látky produkované při jaterním a ledvinném selhání, těhotenství),
- hypoxii,
- nesoulad vjemu vizuálního a pohybu vestibulárního systému (kinetóza).

Může se jednat i o psychogenní zvracení, kdy je příčina např. sexuální konflikt, problémy v domácím prostředí a jiné. Klinicky důležitým faktorem pro nevolnost a *emesis* je expozice ozáření (tumor) a zvýšený nitrolebeční tlak. Následky chronického zvracení jsou důsledkem sníženého přívodu živin a ztrát žaludeční šťávy, dochází ke ztrátám spolykaných slin, nápojů, následkem je hypovolemie. Tento akt vyvolává i další škody: rupturu žaludku, trhliny ve stěně jícnu, zánět sliznice dutiny ústní či aspirační pneumonie. [2, 5]

**Gastritida** je dalším onemocněním postihující žaludek. Dělíme ho do tří základních typů:

- Erozivní a hemoragická gastritida – vede k akutnímu vředu (vlivem stresu, užívání drog, traumatu), může dojít ke krvácení či perforaci žaludeční stěny.
- Neerozivní, chronická aktivní gastritida – příčinou je osídlení antra bakteriemi *Helicobacter pylori*, vede ke vzniku chronického vředu. Ať už se jedná o vřed chronický či akutní, mohou vzniknout metaplasie epitelu, karcinom.
- Atrofická gastritida – je omezena na fundus. U pacientů se vyskytují autoprotilátky proti částem a produktům krycích buněk na sliznici žaludku. Krycí buňky atrofují, snižuje se sekrece kyseliny. [5]

**Gastroparéza** je porucha evakuace žaludku. Vyprazdňování je jednou z nejdůležitějších motorických funkcí GITu. Vzniká při poruše nervového řízení, např. u diabetické neuropatii. Rychlost evakuace má vliv na postprandiální<sup>3</sup> glykémii nejen u diabetiků, ale i u zdravých osob. Mezi hlavní symptomy patří pocit blízké sytosti po jídle, nevolnost, zvracení, nadýmání a bolesti v epigastriu (horní část břicha). [8]

**Karcinom žaludku** je v 95 % adenokarcinom vyskytující se v oblasti pyloru či antra. Udávají se dva typy: intestinální, jež se prognosticky příznivější a difúzní. Počátek bývá bezpříznakový, ale může se objevovat dyspepsie, ztráta chuti k jídlu, pálení žáhy, bolest břicha, nevolnost či zvracení, průjem nebo zácpa. [9]

V žaludku se objevují i mnohočetné **polypy**, které bývají většinou benigní. **Leiomyomy** jsou benigní krvácivé nádory, jež se mohou maligně zvrhnout. V žaludku se též tvoří **lipomy**, **fibromy**, **neurinomy**, **hemangiomy** a vzácně **karcinoid**. [9]

#### 4.3 Patofyziologie střev

Poruchy enzymatického štěpení potravy čili digesce, a vstřebávání produktů trávení neboli absorpce, jsou označovány jako **maldigesce** a **malabsorpce**. Maldigesce způsobuje např. nedostatek žlučových kyselin v tenkém střevě. Malabsorpce vzniká v důsledku různých poruch, např. poruchy vstřebávání ve sliznici, poruchy podslizničního transportu (lymfatické cévy). [9]

---

<sup>3</sup> po jídle, naopak preprandiální znamená před jídlem

Poměrně častá a závažná je **celiakální sprue**, což je imunitní reakce na lepek, kdy dochází ke ztrátě klků. Nedostatečné vstřebávání lipidů vede ke **steatoree**, stolice je bledá, objemná a kašovitá. Hlavními projevy poruchy pasáže potravy střevem bývá buď **zácpa** nebo **průjem**. Zácpa se vyskytuje jako primární nebo může provázet další onemocnění. Nebezpečnou situací je neprůchodnost střev (**ileus**). Průjem se projevuje častým vyprazdňováním řídké stolice. Průjem trvající více než čtyři týdny se označuje za chronický. Příčin je mnoho: infekce, léky (antibiotika), alergie, maldigesce, malabsorpce, zánětlivé choroby střev (Crohnova choroba), dráždivý tračník, nádory či hormony. Na zvýšených pohybech střev se v určité míře podílí i psychika. Do skupiny zánětlivých onemocnění střev spadají dvě onemocnění:

- **Crohnova choroba** – postihuje různé části GITu, zánět proniká celou stěnou střeva a důsledkem mohou být píštěle a stenózy.
- **Ulcerózní kolitida** – počáteční lokalizace v konečníku, později se šíří do sestupného tračníku, zánětlivé změny se omezují převážně na sliznici.

**Syndrom dráždivého tračníku** patří mezi funkční poruchy GITu. Byl popsán před 150 lety a dodnes není uspokojivě vysvětlen. Neexistují specifické testy, využívá se tzv. Římských kritérií III. Kromě bolestí a změn defekačních stereotypů jsou dalšími příznaky nadýmání, horečky, zvracení, bolest hlavy, malátnost, úzkost, stres, emoční poruchy a bolesti zad. [9]

Tak jako v předchozích částech GITu i zde se můžeme setkat s **divertikly**, **nádory**, jež jsou v naší populaci velmi časté (karcinom tlustého střeva). Dále pak s **ischemií** postihující častěji tenké střevo, s **ileem** (život ohrožující stav). Příčinou střevní obstrukce může být:

- uskřínutá kýla,
- invaginace (zasunutí jedné části střeva do druhé),
- torze (přetočení střeva),
- divertikulóza (zanícené vakovité divertikly),
- tumor,
- paralytický ileus (při ztrátě peristaltické motorické aktivity střev),
- fibrózní srůsty. [9]

## 5 Zdravá výživa

Zdravotní stav obyvatelstva je považován za nejdůležitější ukazatel životní i civilizační úrovně. Výživa má významnou úlohu v prevenci civilizačních nemocí. Pro správný vývoj organismu a pro udržení dobrého zdravotního stavu je nezbytná. Zjistilo se, že dvě třetiny úmrtí v civilizovaných zemích jsou ovlivněny stravovacími návyky. [2, 6]

Pod pojmem **racionální výživa** rozumíme soubor znalostí a návodů, které se týkají kvality a kvantity příjmu potravy vzhledem k současným i předvídaným nárokům organismu. Musí být respektováno pohlaví, věk, klima, pohybová aktivita a zdravotní stav organismu. Energetická hodnota musí pokrýt energetické nároky organismu (**bazální metabolismus**) a pro dobrý vývoj je nezbytné, aby obsahovala správné živiny, vitamíny a minerální látky. [6]

Celková denní potřeba energie u žen činí přibližně 8–11 MJ, u mužů 9–14 MJ, závisí to na fyzické aktivitě. Mezi základní složky potravy patří sacharidy (i vláknina), tuky, cholesterol, bílkoviny, vitamíny, minerální látky. [6]

**Sacharidy** patří mezi tzv. levné potraviny, jelikož náklady na produkci jsou nejnižší. Čím je daná populace chudší, tím výrazněji zastupují sacharidy pozici v jídelníčku. Sacharidy mají kryt energetickou potřebu asi z 50–55 %. Je žádoucí, aby podíl škrobovin (rýže, brambory, těstoviny) byl vyšší než podíl čisté sacharózy (řepný cukr). Doporučená denní konzumace vlákniny je 30 g. Vyšší příjem vhodný není z důvodu snižování vstřebávání vápníku (zvyšuje riziko osteoporózy). [2, 6]

**Lipidy** tvoří přibližně 25–30 % energetického krytí. Jsou základní složkou každé buněčné membrány a intracelulárních organel. Vysoké zastoupení tuků vykazuje i mozek a nervová vlákna. V lidském organismu představují první a hlavní energetickou rezervu, jsou bohatým zdrojem energie. V tucích jsou rozpustné některé vitamíny (A, D, E, K). Nasycené mastné kyseliny by měly tvořit méně než 10 % energetického příjmu z důvodu zvyšování hladiny cholesterolu v krvi. Vyskytují se zejména v tucích živočišných (vepřové sádlo, máslo, tučná masa, uzeniny, mléko...). Nenasycené mastné kyseliny působí na hladinu cholesterolu v krvi neutrálně (mononenasycené) a příznivě ovlivňují rizikové faktory kardiovaskulárních onemocnění (polynenasycené). Hlavním zdrojem  $\omega$ -3 mastných kyselin jsou ryby a mořští živočichové. [2, 6]

**Cholesterol** je přítomen ve všech tkáních živočišného původu, jelikož je součástí buněčných membrán. Hraje důležitou roli pro tvorbu steroidních hormonů a žlučových kyselin. Přísun cholesterolu by neměl být vyšší než 300 mg za den u lidí s normálním tukovým metabolismem. [2, 6]

**Proteiny** pokrývají energetickou potřebu člověka asi z 15–20 %. Bílkoviny patří vesměs k dražším potravinám, zejména pak potraviny živočišného původu. Z historického a evolučního hlediska je zajímavé, že podíl proteinů na energetické bilanci člověka byl a je poměrně stabilní, zatímco podíl tuků a čisté sacharózy ne. Příjem proteinů má být takový, aby dokázal pokrýt všechny potřeby proteosyntetických aktivit v organismu. Je součástí všech buněk a musí být neustále obnovován. Plní řadu fyziologických funkcí (hormony, enzymy, protilátky) a stává se zdrojem energie v případě, kdy není dostatek jiných substrátů. Z 22 různých aminokyselin je 8 esenciálních (valin, leucin, izoleucin, methionin, fenylalanin, lysin, threonin, tryptofan), jež je nutno do organismu doplňovat. [2, 6]

**Vitamíny** jsou organické sloučeniny, které jsou v malých dávkách přijímány v potravě. Je to nezbytná část pro správný růst, vývoj a funkci celého organismu nebo orgánů. Jsou rovněž významnou součástí enzymů. Většinu si organismus vyrobit neumí, je nutno je přijímat ve stravě. Známe vitamíny rozpustné v tucích (A, D, E, K) a ve vodě (B, C). [6]

**Minerální a stopové prvky** ačkoli nejsou nositeli energie, jsou potřebnou složkou našeho stravování. Hlavní biogenní elementy (H, O, C, N) tvoří v organismu asi 99.3 % všech atomů, minerály (Ca, P, K, Na, Cl, Mg) přibližně 0.7 % a stopové prvky (Fe, I, Zn, Cu, Co, Se, Mo, F...) jen 0.01 %. Z hlediska nutričních defektů je nejvýznamnější Ca, Fe a I, ale i Mg a Zn. [6]

Česká potravinová pyramida (viz Obrázek 5) slouží jako jednoduchý pomocník pro dodržování odborných výživových doporučení a je dělaná na míru české populaci. Dává základní doporučení o skladbě výživy. Potraviny jsou řazeny dle vhodnosti ke konzumaci v rámci každého patra a ve směru zleva doprava. [7]

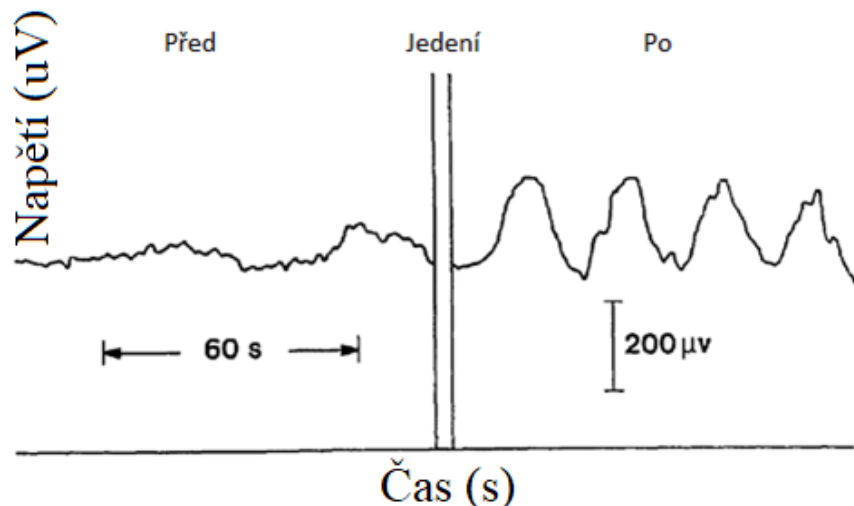


Obrázek 5: Česká potravinová pyramida. [7]



## 6 Elektrogastrografie

Elektrogastrografie (EGG) je diagnostická metoda, při které se zaznamenávají bioelektrické potenciály žaludku pomocí přístroje zvaného elektrogastrograf. Nejčastějším cílem je vyšetření motility GITu. Výsledný grafický záznam v čase se nazývá elektrogastrogram (viz Obrázek 6). Rozlišuje se invazivní (nitrožaludeční) a neinvazivní (perkutánní) snímání. [10]

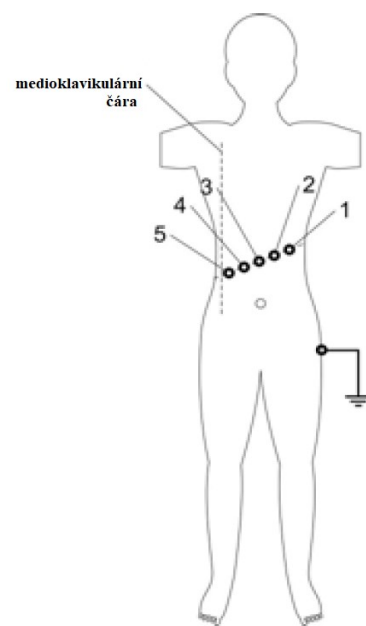


Obrázek 6: Elektrogastrogram zaznamenan od zdravého pacienta před a po snídani (džus, cereálie se studeným mlékem, 2 toasty s máslem a džemem, káva). Před snídání jsou zaznamenány malé amplitudy s frekvencí 1–2 cpm. Snímání započalo 5 min po jídle, amplituda se zvýšila, rovněž frekvence na 3 cpm. [11]

Při invazivní metodě je do žaludku zavedena sonda s kalomelovou elektrodou. Kvalitní vodivé spojení s žaludeční sliznicí je zajištěno slaným roztokem. Referenční elektroda se připojuje na horní končetinu (podobně jako u končetinových svodů elektrokardiografie). Snímání je možné pouze jednou elektrodou, jelikož není snadné zajistit přesné polohování vícero elektrod v gastru, navíc přítomnost cizího tělesa v žaludku ovlivňuje jeho činnost a tím pořizovaný záznam. [10]

Při metodě neinvazivní se elektrody umísťují na břišní stěnu. Toto snímání je méně náročné na přípravu, šetrnější a rychlejší. Lze použít i více svodů a tím lépe sledovat motilitu žaludku. Využívá se unipolárního i bipolárního snímání, referenční elektroda se umísťuje na některý z boků, do podpaží či na samotnou břišní stěnu. [10]

Pro EGG neplatí žádná standardizace snímání ani vyhodnocování jako tomu je u jiných (např. EKG, EEG). Není jednotný systém pro rozmístění elektrod, délku snímání ani způsob provokace GITu k činnosti. Rozmístění elektrod podle Smithe a Haina je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 7), používá se osmi-kanálový bipolární záznam. Kombinace elektrod v jednotlivých svodech jsou 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 1-3, 2-4, 1-4, 1-5. Jiní autoři používají různý počet elektrod (3-12) rozmístěných na přímkách, na kružnici atp. [10]



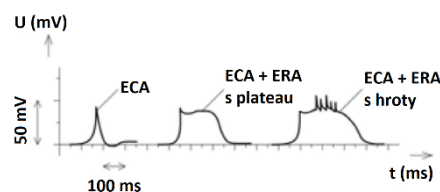
Obrázek 7: Rozmístění elektrod pro percutánní EGG podle Smithe a Haina. [10]

## 6.1 Myoelektrická aktivita žaludku

Membránový potenciál buněk hladké svaloviny osciluje mezi  $-60$  do  $-75$  mV a od  $-20$  do  $-40$  mV. Negativnější potenciál je označován za klidový (klidový membránový potenciál, KMP). Spontánní elektrická aktivita žaludku je započata v pacemakerové oblasti, kde je pro normální funkci nezbytná schopnost vytváření tzv. bazálního elektrického rytmu (BER), *slow waves*. Elektrickou aktivitu lze dělit do dvou druhů:

- ECA – řídicí aktivita, která není projevem kontrakce hladkého svalstva.
- ERA – odpovědní aktivita, projev kontrakce hladkého svalstva následující těsně za výskytem řídicí aktivity ECA.

ECA je považován za nezbytnou aktivitu, ne však dostatečnou pro žaludeční kontrakce. Normální perioda výskytu této aktivity je okolo 20 s, opakovací kmitočet je velmi malý, a proto se udává v cpm (cyklech za minutu). Při frekvenci menší než 3 cpm hovoříme o bradygastrii, naopak při větší zase o tachygastrii. Některé studie dokázaly, že při gastroparéze lze zaznamenat pomocí EGG bradygastrii u nemocných s nevolností a zvracením, u nemocných bez zvracení naopak tachygastrii. Při snímání buněk hladkého žaludečního svalstva *in vitro* lze rozlišit oba druhy aktivit (viz Obrázek 8). Při aktivitě ECA nedocházelo ke kontrakci, zatímco u ERA s plateau ano. Během aktivity ERA s výskytem hrotů byla kontrakce buňky mnohonásobně silnější. Výskyt plateau v rámci ERA je vysvětlován aktivací pomalých vápníkových kanálů, přičemž hroty jsou výsledkem rychlých. Špičková hodnota napětí buněk *in vitro* dosahuje hodnoty až 80 mV, v nitrožaludečním snímání EGG se amplituda pohybuje v rozmezí 0.1–10 mV, u percutánního snímání z povrchu břišní stěny je to pouze 10–500  $\mu$ V. [4, 10, 11]



Obrázek 8: Elektrická aktivita žaludku typu ECA a ERA zaznamenaná intracelulárně u buněk žaludečního svalstva *in vitro*. [10]

## 6.2 Snímání EGG

Natáčení EGG by se mělo provádět v klidné místnosti, aby se co nejvíce eliminovala přítomnost jiných elektrických signálů, jež by mohly být zachyceny kožními elektrodami. Musí být eliminovány i jakékoli rušivé podněty, které by pacienta nutily k pohybu. Po dobu natáčení elektrogastrogramu

pacient zaujímá pouze jednu polohu bez mluvení. Optimální snímání je tehdy, když je pacient uložen pod úhlem 30–45 ° na pohodlném křesle. Před snímáním je nutné alespoň 8 hodinové lačnění. Je třeba rovněž vynechat některé léky ovlivňující činnost motility gastru. [11, 12]

Umístění elektrod je velmi důležité pro zajištění snímání kvalitních myoelektrických potenciálů. V oblasti elektrod by měla být kůže zbavená chloupků a potřena alkoholem ke snížení elektrického odporu a elektricky vodivým gelem ke zvýšení vodivosti. Užití bipolárních elektrod je doporučováno ke snížení výskytu artefaktů a zvýšení kvality signálu. K získání kvalitnějších signálů se aktivní elektrody umísťují v podélné ose žaludečního antra. Běžná konfigurace umístění, kdy jedna aktivní elektroda se připevňuje mezi mečovitý výběžek a pupek, další jsou umístěny ve tvaru kruhu nad oblastí žaludku. Referenční elektroda by měla být 3 cm pod klíční kostí v medioklavikulární čáře vpravo nebo ve střední axiální čáře vlevo. Tyto elektrody by se neměly umísťovat nad oblast žeber, neboť to může navýšit množství artefaktů z dýchání. Pro záznam se často využívají EKG elektrody Ag/AgCl. Jelikož na nejnižších kmitočtech je impedance rozhraní elektroda-kůže nejvyšší (kΩ až MΩ), je nutné, aby se vstupní impedance elektrogastrografu pohybovala v řádu stovek MΩ. [10, 11, 12]

Pro zobrazení EGG záznamu a k následnému zpracování jsou zapotřebí:

- zesilovače,
- filtry,
- analogově-digitální převodník.

Zesilovače slouží k zesílení žaludečních signálů zachycovaných pomocí perkutánních elektrod, protože jsou relativně slabé. Vysoké a nízké pásmové propustnosti filtrů napomáhají k eliminaci šumu z ostatních orgánů (srdce, tenkého střeva, tlustého střeva) a odstraňují tím artefakty vznikající z důvodů dýchání a pohybů těla. Použitím vysokofrekvenčního filtru (0.016 Hz, 1 cpm) a nízkofrekvenčního (0.25 Hz, 15 cpm) vznikne pásmová propust povolující frekvence od 1 do 15 cpm, což je pásmo zájmu, viz Tabulka 1. Digitalizovaný signál z elektrod projde kalibrací a následně je přiveden do PC a softwaru, který signál analyzuje a koordinuje přenos dat do zobrazovacího zařízení. [11, 12]

Po důkladné přípravě pacienta se přistupuje k samotnému natáčení EGG. Klidový signál je natáčen 15–60 min, stimulovaný signál 30–120 min. Optimální délka snímání není jednoznačně určena. [12]

### 6.3 Manifestace EGG

Obecně nelze hodnotit elektrogastrogram vizuálně, používá se proto frekvenční analýza za pomoci rychlé Fourierovy transformace (FFT) navzorkovaného EGG signálu. Pro zobrazení změn frekvenčního spektra v čase se podobně jako u elektroencefalografu používá metoda spektrálních kulis. Podstatou této metody je výpočet frekvenčních křivek z kratších úseků (např. 2 s) a jejich seřazení do 3D projekce. Postupně se počítají frekvenční křivky z úseků o délce 2–4 s, vypočtené frekvenční křivky se poté postupně vykreslí jedna za druhou v pseudo-trojměrné projekci tak, že později vykreslená nepřekrývá předchozí. Lze si to představit i tak, že jednotlivá spektra se vystříhnou z papíru a lepií za sebou jako kulisy v divadle. Tímto způsobem je možno sledovat posun a změny frekvenčních komponent v průběhu času (interpretace dynamického chování signálu ve spektrální oblasti). [10, 13]

Hlavním ukazatelem EGG signálu je jeho dominantní frekvence (DF). Mezi abnormality rytmu EGG záznamu patří již zmíněná bradygastrie a tachygastrie, dále pak žaludeční dysrytmie (nelze jednoznačně určit DF), chybění jedné hlavní DF, nedostatečný vzestup amplitudy po jídle.

*Tabulka 1: Hodnocení EGG záznamu.*

<b>Norma</b>	2–3.6 cpm
<b>Bradygastrie</b>	0–2 cpm
<b>Tachygastrie</b>	3.6–9.9 cpm
<b>Artefakty</b>	10–15 cpm

EGG záznam je hodnocen jako abnormální, jestliže se hlavní frekvenční aktivita pohybuje v pásmech pro tachygastrii či bradygastrii po více než 30 % celkové doby záznamu. [10, 12]

Artefakty jsou charakteristické svým náhlým vzestupem amplitudy. Někdy se artefakty podobají svým průběhem pomalým vlnám depolarizací a mohou být zdrojem řady interpretačních nepřesností. Většinou jsou způsobeny dýchacími pohyby, pohyby končetin i těla. Artefakty vznikající při pohybu mají frekvenci většinou pod 1 cyklus/min, zatímco dýchací nad 9 cyklů/min. Dále mohou vzniknout při mluvení, při nedokonalém kontaktu elektroda-kůže. [11, 12]

## 7 Rešeršní část

Cílem této rešeršní části je nastudování metod pro snímání a zpracování EGG signálu. V rešerši jsou obsaženy 4 články (rok 2000 až 2014), z toho první dvě studie na sebe navazují. Byla nalezena jak tuzemská, tak i mezinárodní literatura v různých internetových databázích (EIZ) jako je např. Web of Science. Byl využit i vyhledávač Scholar Google, který se specializuje na odborné texty jako např. články z časopisů, vysokoškolské kvalifikační práce atp.

### Závěr rešeršní práce:

Metoda měření elektrických potenciálů žaludku není standardizována. Není určena poloha pacienta, počet elektrod, umístění elektrod, testovací potravina, doba snímání. Existují jen doporučení, která taktéž prozatím nedokáží vyeliminovat veškeré nedostatky při EGG záznamu (dostatečná vzdálenost mezi měřicími elektrodami). Záleží na umístění elektrod, aby byly snímány skutečné potenciály vycházející z gastru z pacemakerové oblasti. Zaznamenané signály se musí vyhodnocovat pomocí dalších analýz, hodnotí se např. dominantní frekvence, dominantní výkon...

### 7.1 Elektrogastrografie u pokusných prasat – analýza amplitud

ALI, S. M., J. E. VARAYIL, I. TACHECÍ, J. KVĚTINA, M. KOPÁČOVÁ, M. KUNEŠ, S. REJCHRT a J. BUREŠ. Electrogastragraphy in experimental pigs: The power analysis. *Gastroenterologie a hepatologie: Klinická a experimentální gastroenterologie: původní práce* [online]. Hradec Králové, 2011, (6), 325-330 [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-gastro/2011-6-4/elektrogastrografie-u-pokusnych-prasat-br-analyza-amplitud-36752>

Elektrogastrografie je spolehlivou diagnostickou metodou, která poskytuje informace ohledně četnosti a relativní amplitudě kontrakcí antra žaludku pomocí elektrod umístěných na kůži. Cílem této studie bylo analyzovat poměr amplitud získaných ze záznamu z EGG. Bylo zařazeno 8 dospělých prasat, záznamy byly provedeny pomocí Digitrappet EGG (Synectics Medical AB, Stockholm, Švédsko). Prasata byla 4–5 měsíců stará a vážila  $30.5 \pm 2.6$  kg. Experimenty se prováděly pod celkovou anestézií a vždy byly provedeny 3 záznamy každého zvířete. První bylo bazální měření EGG po 24hodinovém lačnění, druhé po podání 100 mg itopridu a třetí záznam byl po objemovém zatížení žaludku (360 ml vody na 1 zvíře). Všechny záznamy mají délku 30 min. Analýza amplitud nepřinesla další zlepšení diferenciací mezi jednotlivými EGG vyšetřeními (základní, itoprid, objemové zatížení) ve srovnání s procentuálním vyjádřením dominantní frekvence. V těsné korelaci byl motorický index žaludečního antra a index komplexní myoelektrické aktivity. Ani jeden z indexů však není v konečném hodnocení jednotlivých EGG zásadně přínosný. Lze nalézt pouhé nevýznamné tendence, např. bazální EGG měla nejvyšší hodnoty obou indexů. V této vědecké práci dospěli k závěru, že procentuální vyjádření dominantní frekvence (pomalých žaludečních vln) zůstává nejdůležitějším kritériem hodnocení EGG u experimentálních prasat.

Epigastrická oblast byla oholena před nalepením elektrod pro snížení impedance na přechodu elektroda-kůže. Elektrody byly umístěny na každém zvířeti stejně, aby se zabránilo polohovací chyby. První elektroda byla umístěna asi 5 cm od *processus xiphoides* v centru. Další dvě pak byly umístěny ve vzdálenosti 10 cm od centrální elektrody vlevo a vpravo v podžeberní oblasti. Projekt byl schválen

institucí z Akademie věd v České republice. Během celého experimentu byla zvířata pečlivě sledována kvůli všem pohybům a svalovým třesům, jakmile byly zaznamenány jakékoli známky pohybu, měření se pozastavilo. Amplituda elektrické aktivity žaludku je velmi malá, mnoho orgánů vyvíjí rytmické elektrické signály, které jsou rovněž snímány, pomalá vlna byla pečlivě sledována a vyjmuta. Další signály jsou např. ze střev, srdce, z pohybů těla či dýchání. Byl vybrán nejlepší záznam EGG a byly vypočteny parametry na základě spektrální analýzy. Před analýzou došlo k identifikaci a eliminaci artefaktů. Získané parametry zahrnují: dominantní frekvenci, výkon, koeficient nestability, poměr výkonu a procentuální zaznamenání normálního rytmu, zrychleného a zpomaleného. Analýza výkonu byla založena na měření výšky všech amplitud získaných v každém EGG záznamu nezávisle. Společně s hodnocením výkonu vypočítali motorický index žaludečního antra (AMI – *antral motor index*). Motorický index žaludečního antra je definován jako součet výšek všech vln a počet vln při jediném záznamu EGG. Pro získání srovnatelných výsledků se vyloučily všechny artefaktové intervaly před kalkulací AMI. Zavedli nový parametr – index komplexní myoelektrické aktivity (CMAI, *Varayil index*). Vypočítá se stejně jako AMI, který je rozdělen podle celkového času záznamu v sekundách.

Byly provedeny popisné statistiky, Mann-Whitneyův souhrnný test a párový t-test. Analyzovaly se výkony vzhledem k průměrným hodnotám vyjádřené v procentech.

Oba indexy byly spočítány pro všechna měření. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách (Tabulka 2, Tabulka 3, Tabulka 4). Žádné významné rozdíly se v analýze výkonu, AMI a CMAI mezi třemi měřeními neobjevily (základní EGG signál, EGG po podání itopridu a objemový zátěžový test).

Tabulka 2: Analýza výkonu pro všechny typy vyšetření.

Analýza výkonu			
Vyšetření	Medián	Interkvartilní rozsah	Statistická významnost
A: Základní	562.1	131.9–3398.6	A vs. B p = 0.404
B: Itopride	464.3	155.6–1955.9	B vs. C p = 0.902
C: Zátěžový objemový test	246.5	165.8–1553.2	C vs. A p = 0.302

Tabulka 3: Přehled AMI pro všechny typy vyšetření.

Komplexní index myoelektrické aktivity			
Vyšetření	Medián	Interkvartilní rozsah	Statistická významnost
A: Základní	224850	69784–307775	A vs. B p = 0.902
B: Itopride	185720	59239–781413	B vs. C p = 0.710
C: Zátěžový objemový test	99518	54058–302089	C vs. A p = 0.710

Tabulka 4: Přehled CMAI pro všechny typy vyšetření.

Komplexní index myoelektrické aktivity			
Vyšetření	Medián	Interkvartilní rozsah	Statistická významnost
<b>A: Základní</b>	124.9	38.8–171.0	A vs. B p = 0.902
<b>B: Itopride</b>	103.2	32.9–434.1	B vs. C p = 0.710
<b>C: Zátěžový objemový test</b>	55.3	30.0–167.8	C vs. A p = 0.710

#### Závěr:

Díky této práci bylo prokázáno, že lze testovat EGG u experimentálních prasat. Analýzy dominantních frekvencí se dají srovnat s normálními kmitočty u lidí, a proto je měření EGG prasat vhodné pro demonstraci a další preklinické studie. Cílem tohoto projektu bylo zhodnotit, zda by mohla analýza výkonů a indexy zlepšit hodnocení zaznamenávaného EGG a tím zlepšit diagnostický přínos. Na základě výsledků tyto nástroje nedokázaly poskytnout další diferenciace mezi jednotlivými testy. Pro další studie chtějí upravovat umístění elektrod pro jednotlivá experimentální zvířata, aby zajistili co nejvyšší amplitudy. Dospělo se k závěru, že dominantní frekvence pomalých vln žaludečních zůstává nejdůležitějším kritériem pro EGG hodnocení.

## 7.2 Experimentální elektrogastrografie

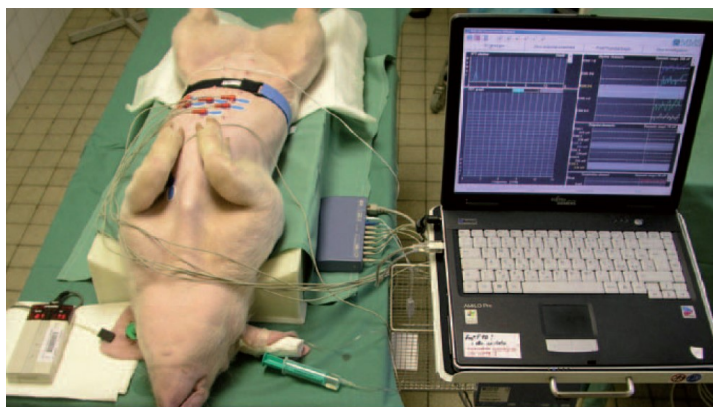
BUREŠ, J., I. TACHECÍ, J. KVĚTINA, et al. Experimentální elektrogastrografie. Gastroenterologie a hepatologie: Klinická a experimentální gastroenterologie: původní práce [online]. Hradec Králové, 2014, (6), 237-242 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/profile/Marcela\\_Kopacova/publication/286333080\\_Experimental\\_electro\\_gastrography/links/585ba8bf08ae8fce48fa6fa3/Experimental-electrogastrography.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcela_Kopacova/publication/286333080_Experimental_electro_gastrography/links/585ba8bf08ae8fce48fa6fa3/Experimental-electrogastrography.pdf)

V této práci je vypracovaná metodika perkutánní elektrogastrografie u experimentálního prasete. Dominantní kmitočet je srovnatelný s lidským. Experimentální EGG představuje důležitou metodu pro preklinické farmakologické a toxikologické studie. Neinvazivní EGG je metoda záznamu myoelektrické aktivity žaludku pomocí elektrod umístěných v epigastriu. Žaludeční pacemaker je u člověka lokalizován ve velké křivatuře v horní třetině žaludečního těla. Základní elektrická rytmická automaticita je zajištěna pomalými vlnami, mimo tyto vlny se na zajištění správné myoelektrické kontroly gastru podílí i vrcholové potenciály nezbytné pro správnou kontraktilitu žaludečního antra. Vedle myoelektrické činnosti žaludku je další důležitou fyziologickou vlastností gastrická motorická funkce. U zdravého člověka EGG a gastrické evakuační testy navzájem dobře korelují. V klinické praxi se EGG využívá především v diabetologii (diagnostika gastroparézy) u funkční dyspepsie, k objektivnímu posouzení efektu prokinetik a k vyšetření některých kinetóz. Charakteristické nálezy jsou také např. u mentální anorexie. V minulosti byly problémy EGG v nízké reprodukovatelnosti vyšetření, v časové náročnosti vyhodnocení a obtížné eliminaci pohybových

a dechových artefaktů, které zkreslovaly záznam. Díky počítačovému zpracování a vyhodnocení EGG záznamu je o toto vyšetření v nynější době opět zájem.

Autoři postupně zdokonalovali metodiku EGG u experimentálního prasete domácího. Má celou řadu velmi podobných gastrointestinálních a metabolických funkcí jako člověk, a proto je vhodný pro preklinické testování a výzkum v mnohých oblastech. Zdokonalení spočívalo jak v přístrojové, tak i v metodické části. Současné zařízení snímalo záznam pomocí 7 svodů (oproti původním 3, viz Obrázek 9) a umožňuje identifikovat dvojici elektrod s nejlepším signálem. To je důležité např. při zátěžovém objemovém vodním testu, kdy se objem i poloha žaludku v průběhu vyšetření mění. Zařízení kromě elektrod obsahuje abdominální pás, která umožňuje registrovat (a automaticky odstraňovat) dechové a pohybové artefakty.

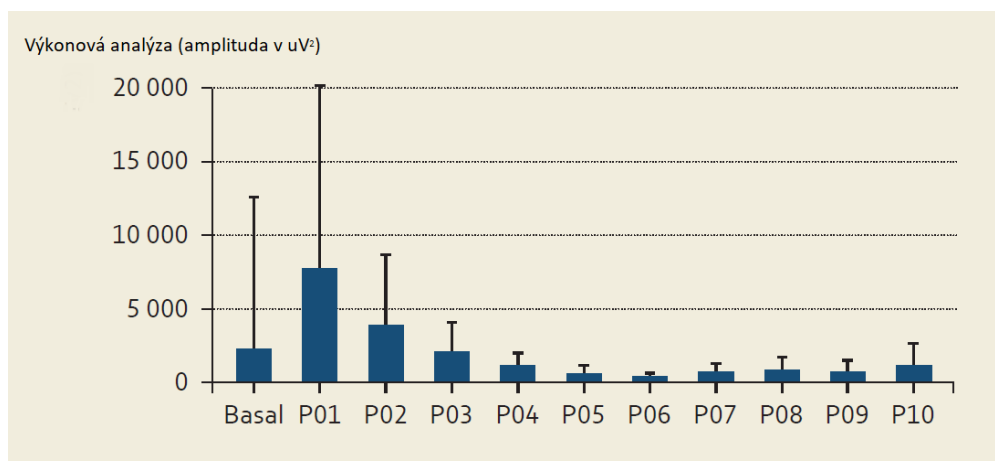


*Obrázek 9: Uspořádání EGG u experimentálního prasete.*

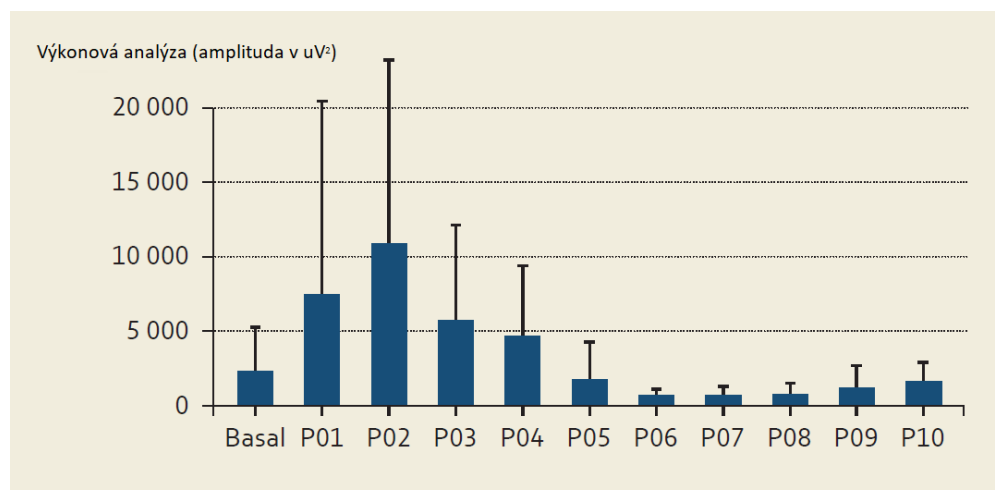
Spektrální analýza založená na Fourierově transformaci hodnotí EGG signál, poté se stanoví plochy amplitud (výkon). Standardně se využívá procentuální vyjádření zastoupení určitého rytmu (dominantní frekvence) z celkového časového úseku (normální cyklus je 2.5–3.5 cpm, bradygastrie <2.5 cpm, tachygastrie 3.5–10 cpm, duodenální aktivita >10 cpm). V tomto projektu se stanovuje průměrná dominantní frekvence v jednodominantních intervalech, to umožňuje detailnější hodnocení a korelaci s dalšími ukazateli (farmakokinetická léčiva). Pro některé farmakologické a toxikologické studie je potřeba zaznamenávat EGG dlouhodobě, až 8 hodin. K hodnocení EGG se využívá také myoelektrická odpověď na příjem potravy, a to tak, že se porovná poměr jednotlivých ploch postprandiálně a nalačno (*power ratio*).

Zátěžový vodní test byl prováděn s většími objemy tekutin, než jaký je podáván člověku, jelikož prase je schopno pojmout větší porci. Při různých objemech dodávaných do žaludku nedocházelo k výrazným změnám dominantní frekvence. Při analýze ploch amplitud došlo k nejrychlejšímu vzestupu v prvních 15 minutách po podání 500 ml vody. Po aplikaci 1000 ml bylo maxima dosaženo v druhém 15minutovém intervalu, po podání 1500 ml až po 60 minutách. Po všech třech různých objemech došlo k výraznému poklesu na hodnoty nižší než bazální a ke konečnému vyrovnaní po 255 minutách (viz Obrázek 10, Obrázek 11, Obrázek 12).

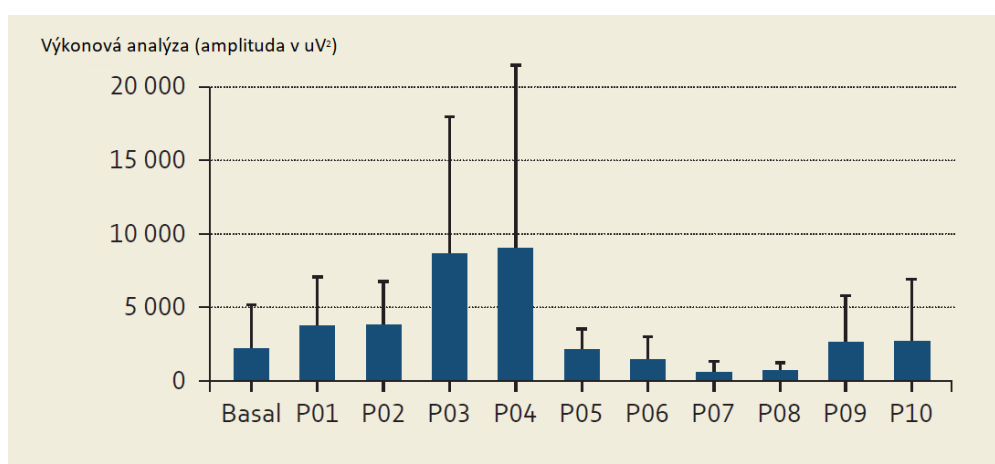




Obrázek 10: Zátěžový test po podání 500 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).



Obrázek 11: Zátěžový test po podání 1000 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).



Obrázek 12: Zátěžový test po podání 1500 ml. Analyzované výkony po bazálním záznamu v deseti 15minutových intervalech (P01–P10; průměr a směrodatná odchylka).

Na praseti se testovalo různé ovlivnění prokinetiky. Při standardním dávkování 3 mg/kg nebylo prokázáno významnější ovlivnění EGG itopridem. Použili proto erytromycin, což je silnější prokinetikum zvyšující dominantní frekvenci i amplitudy. Podstatné bylo studium efektu erytromycinu zejména u stavů s významnou žaludeční motorickou dysfunkcí, v humánní medicíně je to především diabetická gastroparéza. V experimentálním modelu idiopatického střevního zánětu (pomocí dextranodisulfátu) prokázali gastrickou motorickou poruchu. Podání prokinetika následně zvýšilo u experimentálního prasete dominantní kmitočet.

#### Závěr:

V této práci bylo prokázáno, že experimentální EGG představuje důležitou metodu pro preklinické farmakologické a toxikologické studie. V základních parametrech je EGG prasete srovnatelné s lidským. Zvířeti byly podány 3 různé objemy vody, čím větší objem, tím byl dominantní výkon zaznamenan později, po tomto navýšení se výkon dostal vždy pod bazální, k ustálení došlo až po více než 4 hodinách.

### 7.3 Eelektrogastrografie: metodologie, validace a aplikace

YIN, Jieyun a Jiande D Z CHEN. Electrogastrography: Methodology, Validation and Applications. *Journal of Neurogastroenterology and Motility* [online]. 2013, **19**(1), 5-17 [cit. 2019-01-29]. DOI: 10.5056/jnm.2013.19.1.5. ISSN 2093-0879. Dostupné z: <http://www.jnmjournal.org/journal/view.html?doi=10.5056/jnm.2013.19.1.5>

EGG je neinvazivní metodou pro měření myoelektrické žaludeční aktivity. Byla objevena v roce 1921 a popularizována až v 90. letech. Je to atraktivní řešení, ovšem díky své neinvazivní povaze vyvstaly spory ohledně platnosti a použití. Cílem této vědecké práce bylo prověřit metodologii, validaci a aplikaci.

Pomalá žaludeční vlna koreluje s žaludeční motilitou. Souvislost mezi žaludeční dysrytmií a poruchami žaludeční motility je rovněž předmětem této práce. Je zde podrobně popsán způsob záznamu EGG a jeho úskalí v části analýzy.

K posouzení, jestli je elektrogastrografie užitečným výzkumným/klinickým nástrojem, je nutno zcela pochopit, co lze tímto měřením zaznamenat a jak výsledky interpretovat. Před šedesátými léty nebylo známo, jestli se jedná o záznam žaludeční myoelektrické aktivity nebo kontrakce, dnes víme, že jsou měřeny pomalé žaludeční vlny. Někteří vědci se nedávno zastávali názoru, že EGG či jiné extracelulární snímání žaludku jsou pouhými záznamy artefaktů (pohyby žaludku či kontraktilní artefakty). Pro potvrzení nebo vyvrácení tohoto postoje se v této literatuře přezkoumávají fakta z vlastních měření neinvazivních i serózních, rovněž se posuzuje činnost žaludku u pacientů s příznaky žaludeční dysmotility.

#### Normální myoelektrická aktivita a její abnormality:

Normální gastrická myoelektrická aktivita zahrnuje pomalé vlny a rychlé *spike* potenciály. Pomalá aktivita je pokládána za kontrolní, zatímco rychlá jako akční potenciál či odezva elektrické aktivity. Pomalé vlny určují maximální frekvenci žaludečních kontrakcí. Kontrakce nastane, když je pomalá vlna doprovázena „spikem“. Ve fundu a proximálním antru není častá vzájemná korelace mezi špičkovými

potenciály a žaludeční kontrakcí. Žaludeční myoelektrická aktivita se může změnit či být abnormální u nemocných, po stimulaci nebo i spontánně. Za abnormální se považuje žaludeční dysrytmie. Tachygastrie je obvykle ektopická s původem v antru. Ve více než 80 % je lokalizována právě v antru s retrográdním šířením. Může to potlačit („přepsat“) distálně šířenou pomalou vlnu, ve většině případů ji ale kompletně nepotlačí. Na rozdíl od tachygastrie není bradygastrie ektopická a čistě odráží snížení frekvence normální žaludeční aktivity. Distální bradygastrie nemusí mít zásadní vliv na žaludeční kontrakce nebo vyprazdňování. Arytmie, další abnormalita, se týká absence rytmických pomalých vln. U pacientů s gastroparézou byla abnormální propagace pomalé vlny detekována s vysokým rozlišením včetně její inicializace.

Pomalé vlny mohou být zaznamenány intracelulárně i extracelulárně. Extracelulární snímání je možno klasifikovat *in vivo* nebo *in vitro*, *in vivo* se dále dělí na snímání interní a externí abdominální záznam. Měření pomocí různých metod může mít odlišné fyziologické významy a tím pádem i variabilní klinickou interpretaci.

#### EGG měření:

##### 1. Nastavení:

Přestože jsou informace ohledně vhodného nastavení záznamu často v biomedicínských výzkumech vynechány, jsou kriticky důležité. Dva hlavní problémy související se záznamovým zařízením EGG:

- Zesílení – signál je obvykle v rozmezí 50–500  $\mu\text{V}$ , adekvátní zesílení musí být zajištěno tak, aby byl signál ve vhodném rozsahu pro zobrazení a analýzu.
- Nastavení filtru – určuje frekvenční rozsah, který má být maximálně zesílen (0.5 až 9.0 cpm nebo 0.0083 až 0.15 Hz – což je mnohem nižší než u většiny extracelulárních nahrávek). Špatný výběr rozsahu filtru může vést k silnému či nerovnoměrnému zkreslení nebo dokonce ke zmizení žaludečních pomalých vln.

##### 2. Procedura pro snímání:

Běžná chyba při EGG je nedostatečná příprava pokožky a umístění elektrod. Signál je poté slabý a může být snadno narušen pohybem těla či dýcháním. Pro přesné zaznamenání elektrické aktivity žaludku by měl být dodržován následující postup:

- Kůže, kde mají být elektrody umístěny, musí být důkladně očištěna, aby impedance mezi dvojicí elektrod byla nižší než 10 k $\Omega$ . Doporučuje se, aby pokožka i elektrody byly pokryty gelem. Pokožka by se měla natřít 1 minutu před nalepením elektrod, aby došlo k dostatečnému vstřebání.
- Umístění elektrod – lze použít elektrody z EKG. Pro 1-kanálové EGG je nejčastější konfigurace taková, že se 1 elektroda umístí do středu na linii spojující *processus xiphoideus* a pupek, druhá je 5 cm daleko (nahoru a posunutá o 45 °) na levé straně pacienta. Zemnicí elektroda je lokalizována na levém okraji vodorovně od 1. aktivní elektrody. Jestliže je zařízení 4-kanálové, použije se vícero elektrod dle předchozí studie. Vícekanálové EGG může poskytnout více informací o šíření pomalé vlny a spojování.
- Pozice subjektu – nejdůležitější je, aby subjekt měl pohodlí, což zamezí nebo sníží pohybové artefakty. Pacient by měl být v klidu, bez mluvení a zbytečného pohybu. Artefakty v záznamu musí být před analýzou odstraněny.

- Doba záznamu – častou chybou zaznamenávání EGG je příliš krátké nahrávání. Např. v záznamu krátký 5 minut je pouze 15 pomalých vln, což není dostatečné pro analýzu a interpretaci. V ideálním případě je potřeba nejméně 30 minut.
- Klinická elektrogastrografie – měření by mělo probíhat na lačno (lačnění alespoň 6 hodin) i po jídle. Vyprazdňování žaludku trvá přibližně 4 hodiny, jestliže má pacient podezření na poruchu motility, může to být i déle. Před testem by se nemělo 2 hodiny pít (včetně vody). Doba trvání postprandiálního záznamu by měla být nejméně 30–60 minut v závislosti na symptomatické odpovědi na jídlo. Rovněž by se před záznamem (nejméně 2–3 dny) neměly užívat léky ovlivňující motilitu žaludku. Testovací jídlo by mělo obsahovat minimálně 250 kcal, přinejlepším více než 400 kcal, s nanejvýš 35% obsahem tuku. Doporučeny jsou pevné pokrmy, i když několik testujících používá vodu jako zkušební „jídlo“. Různá zkušební jídla mají za následek různé postprandiální odpovědi. U zdravých lidí pevné testované jídlo s dostatečně vysokými kaloriemi vede ke zvýšení jak amplitudy, tak frekvence. Tekutá strava může zvýšit amplitudu pomalé vlny, ale snižuje jeho četnost. Jídlo s vysokým obsahem tuku, tzn. více než 50 %, může zapříčinit dysrytmii. Studovaný objekt by měl být sledován za bdělého stavu, při spánku byly v pomalých vlnách zaznamenány změny.
- Úskalí při záznamu – díky nevhodně připravené pokožce, pohybům, mluvení atp. může EGG postrádat význam.

### 3. Analýza:

Na rozdíl od EKG, které je možno hodnotit pouze dle vizuální stránky, EGG musí být podrobena počítačové spektrální analýze. Průběh pomalých vln závisí na mnoha nekontrolovatelných faktorech, přičemž tvar vlny nemá žádné stanovené diagnostické kritérium, to je důvod, proč je signál analyzován váženým součtem všech žaludečních vln. Kromě toho EGG obsahuje i dýchací artefakt, který je mezi 12–25 cpm. Příležitostně může být zaznamenána pomalá vlna tenkého střeva (9–12 cpm). Ačkoli tyto interference zkreslují pomalé žaludeční vlny, jejich frekvence se nepřekrývají. Z toho důvodu je možno vyseparovat pomalé žaludeční vlny spektrální analýzou. Klinicky stanovené EGG parametry, jež lze extrahovat, jsou dominantní frekvence a síla, poměr výkonu podávání nalačno, procento normálních pomalých žaludečních vln, procento žaludečních dysrytmií a procento distribuce energie.

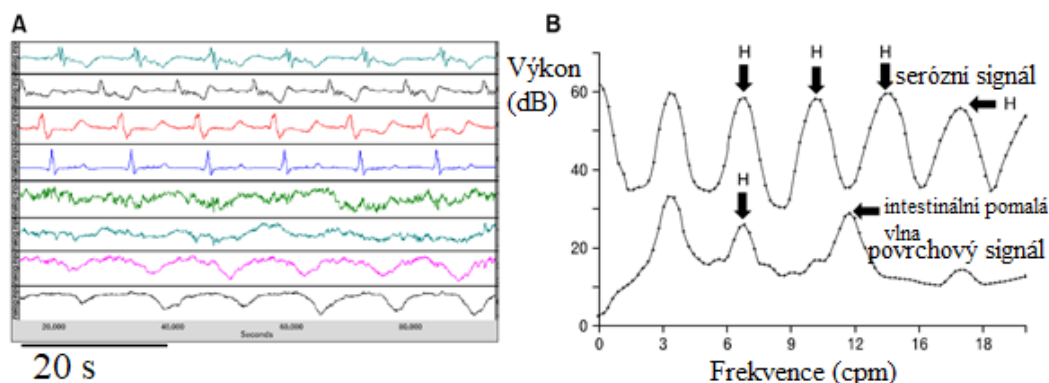
- Dominantní frekvence a síla – lze odvodit od spektrální hustoty výkonu posuzované z periodogramu. Normální rozsah dominantní frekvence je mezi 2 až 4 cpm. Pod tuto mez se jedná o bradygastrii, nad tachygastrii a jestliže neexistuje dominantní špičkový výkon, tento stav se nazývá arytmie.
- Poměr výkonu nebo relativní změna výkonu – poměr dominantních sil před a po zásahu je běžně užívaným parametrem, který se spojuje se změnou žaludečních kontrakcí. Obecně je uznáván poměr větší než 1 jako zvýšení kontraktility žaludku v důsledku intervence, naopak menší než 1 odráží pokles.
- Procento normálních pomalých žaludečních vln – je to kvantitativní hodnocení pravidelnosti pomalé vlny. Je definován jako procentní podíl času, během kterého jsou pozorovány pomalé vlny. Lze jej vypočítat i z výkonových spekter dlouhých 1 minutu.
- Procento žaludeční dysrytmie – je definováno stejně jako procento normálních pomalých vln, ale sleduje dysrytmie. Dále je klasifikován na procentuální zastoupení brady/tachygastrie i arytmie.

- Procento distribuce elektrické energie – je definováno jako procento celkového výkonu ve specifickém frekvenčním rozsahu v porovnání s výkonem v úplném rozsahu frekvencí od 1 do 15 cyklů za minutu. Procento distribuce i u zdravých lidí nikdy nebude 100%. Tento parametr je velmi citlivý na šum.
- Další parametry – patří zde koeficienty nestability dominantní frekvence a dominantní síly. Klinický význam prozatím není stanoven. Je-li snímání 4-kanálovým zařízením, existuje řada dalších parametrů, např. procento pomalé vlnové vazby mezi všemi páry kanálů a šíření pomalých vln.

#### 4. Validate:

Vzhledem k jeho neinvazivní povaze je tento záznam senzitivní na rušení a existují obavy o platnosti elektrogastrografie.

- Korelace EGG s interním serózním záznamem – po řádném snímání pomalých žaludečních vln a parametrech získaných ze spektrální analýzy zjistili, že výsledky spolu korelují. Snímalo se současně povrchovými i podpovrchovými elektrodami, frekvence pomalé vlny byla stejná, jak lze vidět v energetickém spektru (Obrázek 13). Je typické, že v serózním záznamu lze vidět pulzy, naopak u povrchového snímání sinusoidy. Je to z toho důvodu, že stěna břišní funguje jako nízkofrekvenční filtr, který činí signály hladší, jsou to vážené součty všech vnitřních pomalých vln. U serózního záznamu tak může být viděno více harmonických složek.



Obrázek 13: A) Záznam pomalých vln měřen serózními elektrodami (vrchní 4 kanály) a abdominálními povrchovými elektrodami (spodní 4 kanály). B) Výkonové spektrum interního a externího snímání. Třetí maximum ve spodní části spektra indikuje frekvenci intestinální pomalých vln. H – harmonická složka.

- Korelace EGG s žaludeční motilitou – vzájemná korelace mezi pomalou vlnou zaznamenanou EGG a žaludeční kontrakcí měřenou pomocí manometrie neexistuje. Důvodem je, že se jedná o různá měření. EGG je měřítko pomalých vln v žaludku, zatímco manometrie je měřítkem žaludečních kontrakcí na konkrétních místech. Několik studií ovšem ukázalo, že se objevuje korelace mezi EGG a kontraktilní činností žaludku. Ku příkladu jedna klinická studie se současným snímáním EGG a žaludeční manometrie zjistila zvýšenou dominantní sílu a sníženou dominantní frekvenci během motorové aktivity ve srovnání s aktivitou klidovou.
- Korelace EGG s vyprazdňováním žaludku – byla prokázána v mnoha studiích. Např. u pediatrických pacientů s gastroesophageálním refluxem se zjistilo, že postprandiální

změna v EGG (dominantní síla) koreluje s rychlostí vyprazdňování žaludku. U 157 pacientů s gastroparézou zpožděné vyprazdňování zapříčinilo procentuální snížení pomalých vln a nižší postprandiální nárůst (dominantní výkony), než který má zdravý člověk při evakuaci žaludku.

#### Závěr:

Podstatnou otázkou této práce bylo, zda se dá EGG považovat za přínosnou diagnostickou metodu, a ne o pouhé zaznamenávání artefaktů. Toto tvrzení se snažili vyvrátit přesným serózním měřením *in vivo* pomalé vlny. Tenzometrem se měřily kontrakce, a i když došlo u pomalých vln k dysrytmii, nebyl žádný stah zaznamenán. Aby se jednalo o užitečný diagnostický nástroj, je nutno dodržet zásady při snímání, analýze i konečné interpretaci. Vzhledem k tomu, že EGG měří pomalé vlny žaludku, nemohou se očekávat významné výsledky co se týká žaludečních kontrakcí nebo vyprazdňování, v tomto případě EGG využití nemá.

Tato studie se zabývá i elektrofyziologií, např. evolucí pomalých vln u novorozenců. Postupně procentuální navýšení bylo zaregistrováno během prvních 6 měsíců u 19 předčasně narozených dětí.

Dále pak je tu zmínka o intervenci stresu či farmakologické terapie (prokinetická terapie). Při stresu mohou být inhibovány postprandiální odezvy na testované jídlo a indukované dysrytmie jako ve stavech nalačno. Prokinetická činidla se podávají k léčbě gastrointestinální dysmotility, kdy dochází ke zlepšení pomalých gastrických vln.

Přibližně 50 až 75 % pacientů s gastroparézou mají jednu nebo více abnormalit v EGG (snížené procento normálních pomalých vln, nadměrná dysrytmie, snížený postprandiální dominantní výkon).

## 7.4 Užitečnost čtyř-kanálového EGG systému s probíhající spektrální analýzou

WON KIM, Deok, Chang YONG RYU a Sang IN LEE. Usefulness of a Developed Four-Channel EGG System with Running Spectrum Analysis. Yonsei Medical Journal [online]. 2000, 41(2), 230-236 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Deok\\_Won\\_Kim4/publication/12500983\\_Usefulness\\_of\\_a\\_developed\\_four-channel\\_EGG\\_system\\_with\\_running\\_spectrum\\_analysis/links/563c034308ae34e98c47dab8.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Deok_Won_Kim4/publication/12500983_Usefulness_of_a_developed_four-channel_EGG_system_with_running_spectrum_analysis/links/563c034308ae34e98c47dab8.pdf)

EGG je měřicí metoda, která snímá elektrické potenciály žaludku ze stěny břišní. Je to neinvazivní, levné a jednoduché měření. EGG signál má velmi nízkou frekvenci 0.05 Hz a extrémně malou amplitudu (10–100  $\mu$ V). Proto je analýza naměřeného záznamu složitá, a ne vždy správně interpretována. V této studii je využíváno 4-kanálového systému k měření pomalých vln. Tento systém byl porovnáván s komerčně dostupným 1-kanálovým přístrojem Digitrapper EGG. Hledala se nejlepší podobnost okolo 3 cpm, který kanál se nejvíce shodoval s kanálem 1, jehož elektroda byla umístěna na stejném místě jako u komerčně 1-kanálového systému. Výsledky u preprandiálního a postprandiálního záznamu byly statisticky významné a díky nim se dá tvrdit, že multi-kanálový systém snímání EGG je vhodnější k měření.

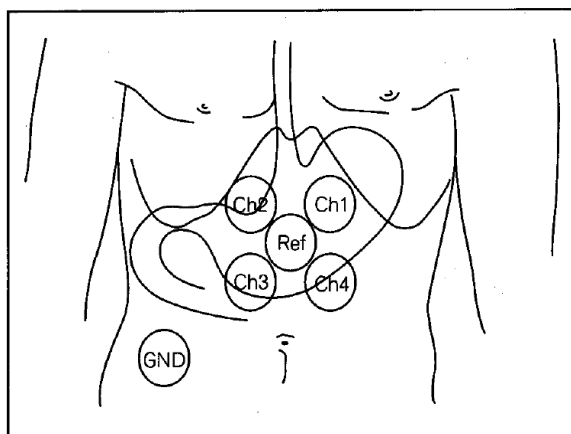
Ke snímání elektrických potenciálů ze žaludku lze využít tři metody. U invazivního snímání se umístí při operaci elektrody k seróze žaludku. Nebo se mohou připojit sací elektrody k mukóze při polknutí. U poslední metody se elektrody připojují k břišní stěně. První metoda má limitované použití kvůli přesnosti, druhá může způsobovat pacientovi bolest. Poslední je nazývána elektrogastrografií, jež je neinvazivní a snadná ke změření, ale je složité zanalyzovat pořízený signál, jelikož není ještě plně pochopen.

První EGG bylo zaznamenáno v roce 1921 Alvarezem. Signály měly přibližně 0.05 Hz, což odpovídá 3 cpm. Měřené EGG je v současnosti pokládáno za normální, pokud výskyt pomalých vln vycházejících z pacemakerové oblasti je 3 cpm, ty jsou ve více než 70 % naměřených signálů. Ovšem 3 cpm v EGG značně záleží na umístění elektrod na abdomenu. Komerčně dostupné produkty mají pouze jednobáňové zaznamenávání a signály nemohou být monitorovány online při měření. Proto byl v této práci vytvořen 4-báňový EGG monitorovací systém, který ukazuje 2D a 3D spektra ke snadnější interpretaci. Tři osy u 3D spektra reprezentují čas, frekvenci a spektrální amplitudu.

#### Data a metoda měření:

EGG data byla získána od 40 asymptomatických studentů medicíny z Yonseiské univerzity ve věkovém průměru 26 let. Mezi nimi 20 subjektů podstoupilo obojí měření, preprandiální i postprandiální, zatímco 20 elektrogastrogramů bylo získáno pouze nalačno.

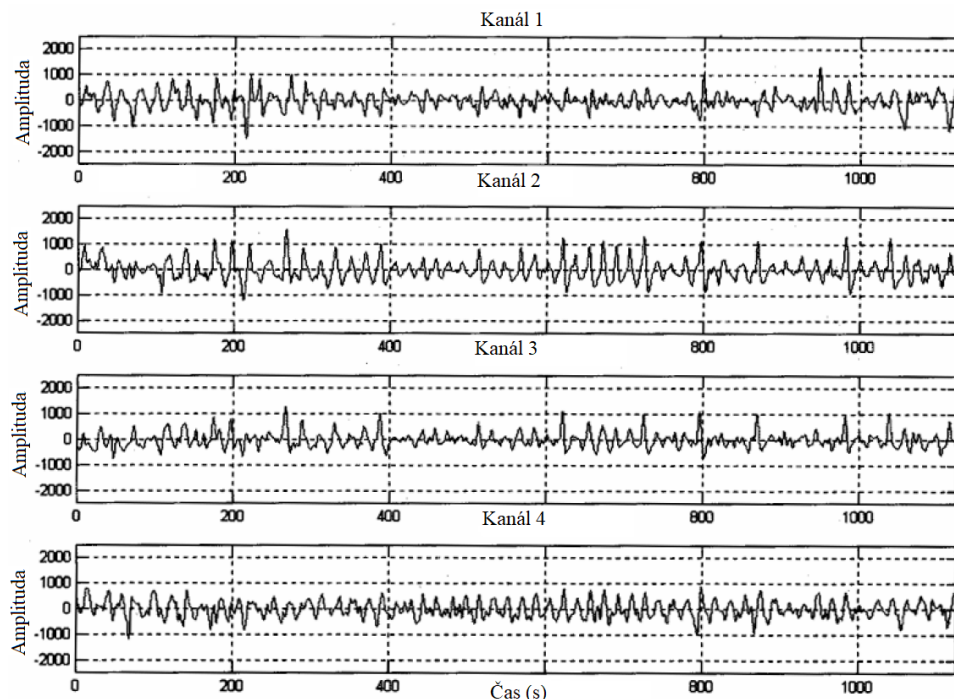
Záznamy byly pořizovány v sedě (lehce nakloněná poloha) po dobu 20 min v obou případech. Postprandiální EGG bylo zaznamenáváno ihned po jídle – sushi a sklenice vody. Měření započalo asi 5 minut po umístění elektrod pro získání lepšího signálu. Před měřením byla břišní stěna ošetřena alkoholem v oblastech umístění elektrod (Obrázek 14). Referenční elektroda byla uložena doprostřed mezi distálním koncem sternu a pupku. Vzdálenost mezi měřicími elektrodami od referenční byla cca 6 cm. Konfigurace umístění elektrod pro snímání EGG není standardizována s ohledem na unipolární či bipolární snímání, množství elektrod, lokaci. Zvolená konfigurace se považuje za konvenční.



Obrázek 14: Umístění elektrod na abdomenu.

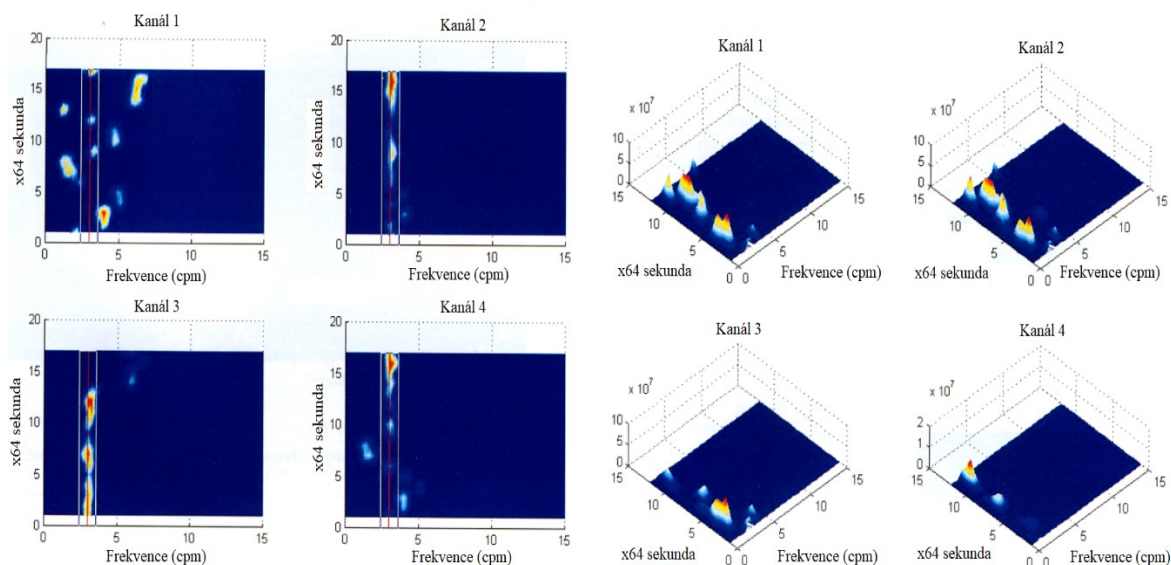
4-báňový EGG systém se skládal v této studii z hardwaru a softwaru včetně běžící spektrální analýzy (*running spectrum analysis*, RSA) ke snadné interpretaci signálu. Mezi majoritní komponenty v hardwarové části patří auto-vyvažovací obvod, rozdílový zesilovač, filtry typu dolní a horní propust.

Auto-vyvažovací obvod minimalizoval drift izolinie během pohybových artefaktů (dýchání, pohyby těla...). Poněvadž amplituda signálu byla velmi malá, okolo 10 až 100  $\mu\text{V}$ , EGG systém potřeboval velké zesílení (39 000x), stejně jako vysoce přesné filtry. Vzorkovací frekvence byla 2 Hz, aby byl získán EGG signál (viz Obrázek 15).



Obrázek 15: Normální elektrogastrogram ze všech 4 kanálů.

Pro spektrální analýzu byla EGG data filtrována tak, aby zůstaly kmitočty od 0 do 10 cpm, poté byla zpracována vlnkovou transformací. Následně rychlou Fourierovou transformací každých 512 vzorků se 75% překryvem ke zobrazení 2D a 3D spektra (Obrázek 16).



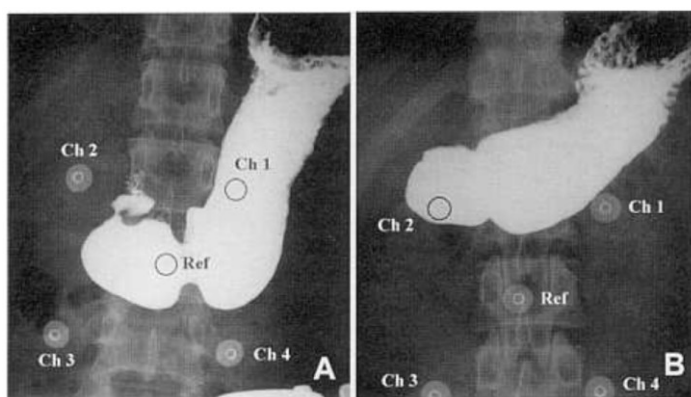
Obrázek 16: Normální 2D spektrum ze všech 4 kanálů (vlevo), typické 3D RSA pacienta (bradygastrie, vpravo).



Dle 2D spektrální analýzy si lze povšimnout, že ne všechny kanály ukazovaly vždy normogastrii (Obrázek 16), proto 1-kanálový EGG systém může vést ke špatné diagnóze.

#### Závěr:

Díky sledování spekter při měření, bylo možno modifikovat umístění elektrod a tím docílit nejlepších výsledků. Čili záleží na poloze elektrod. Na následujícím obrázku lze vidět v levé části normální umístění žaludku, v pravé abnormální (Obrázek 17). V levé části snímku již zmíněného je možno očekávat největší napěťový rozdíl mezi 1-kanálem a referenčním ze všech 4, v části pravé díky abnormálně umístěnému gastru jej nepokrývá žádný kanál. Nelze tedy očekávat adekvátní EGG signály, což může vyústit ve špatnou diagnózu. Tento příklad dokazuje nezbytnost vícekanálového snímacího systému. Rovněž je v této studii doporučována větší vzdálenost mezi elektrodami, pro lepší pokrytí a zachycení EGG signálů.



Obrázek 17: Umístění žaludku: A) normální, B) abnormální.

V následující tabulce (Tabulka 5) lze vidět výsledky komparace s komerčním přístrojem (kanál 1), kdy se hledaly kanály s největší procentuální shodou v naměření 3 cpm.

Tabulka 5: Procentuální shoda ve 3 cpm mezi nejlepším kanálem a komerčním 1-kanálovým systémem u normálního subjektu.

Záznam	Kanály	Průměr (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Standardní odchylka (%)
<b>Preprandiální</b> (N = 40)	Nejlepší kanál	89.5*	64.4	100.0	12.7
	Kanál 1	83.2*	45.1	100.0	16.0
<b>Postprandiální</b> (N = 20)	Nejlepší kanál	90.4 <sup>+</sup>	63.6	100.0	12.7
	Kanál 1	76.5 <sup>+</sup>	19.4	100.0	22.1

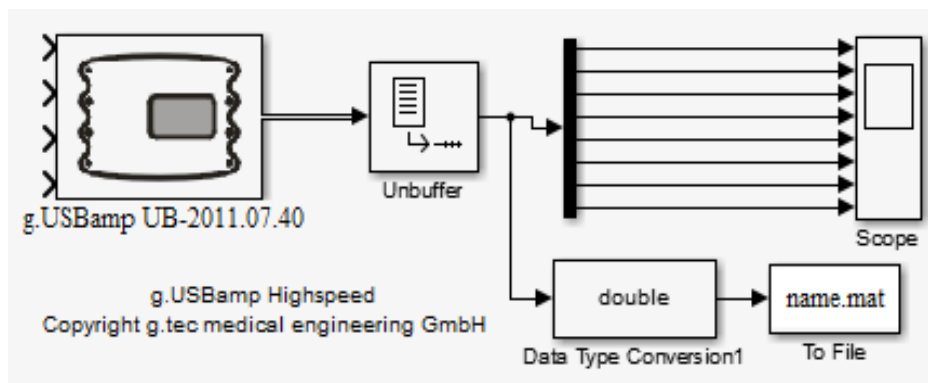
\*  $p < 0.001$  (párový t-test, *paired-samples t-test*)

<sup>+</sup>  $p = 0.003$  (párový t-test, *paired-samples t-test*)

## 8 Design a realizace experimentálních měření EGG signálu

Tohoto experimentálního měření se zúčastnilo 6 dobrovolníků ve věku 23–25 let. Cílem bylo získat dostatečný počet elektrogastrogramů, jež se následně využily ve zpracování – filtraci a následné časově-frekvenční analýze. Dalším úmyslem bylo sledovat, jakým způsobem ovlivní záznam pohybové artefakty ať už z dýchání či z volního pohybu probanda (jednalo se o pouhé sledování, analýza se z těchto signálů neprovedla). Měřilo se se dvěma testovacími jídly. To mělo taky svůj záměr, aby se mohlo otestovat, zda tuhost potravy ovlivní jakýmkoli způsobem elektrické potenciály žaludku.

Měření bylo zrealizováno čtyř-kanálově s EKG elektrodami (Ag/AgCl) s využitím biozesilovače g.USBamp firmy g.tec (sériové číslo: UB-2011.07.40) propojeného přes USB k počítači. V programu MATLAB byl navržen měřicí řetězec zobrazen na obrázku (Obrázek 18). Umožňuje zobrazení měřených signálů (*Scope*), nastavení vzorkovací frekvence, používaných kanálů, NOTCH filtru. Data následně konvertuje do datového typu double a ukládá jako soubor *name.mat*. Biozesilovač disponuje 16 monopolárními kanály a 4 nezávislými zeměmi, jež je možno propojit. Obsahuje 24 bitový A/D převodník. Tento produkt je držitelem CE certifikátu, ve FDA (*Food and Drug Administration* – Úřad pro kontrolu potravin a léčiv) je klasifikován jako medicínské zařízení, třída bezpečnosti II, podle míry rizika se řadí do skupiny IIa, jeho příložené části jsou typu CF, jsou zde kladeny vysoké nároky na unikající proud příložnou částí do pacienta a je vhodný i k přímému styku se srdcem.



Obrázek 18: Měřicí řetězec navržen v programu MATLAB – Simulink.

V bloku *Scope* a multiplexor se nastavoval daný počet měřených kanálů. V první části řetězce g.USBamp UB-2011.07.40 byly nastaveny parametry:

- vybrané kanály,
- vzorkovací frekvence 128 Hz nebo 256 Hz,
- NOTCH filtr 50 Hz k odstranění síťového rušení.

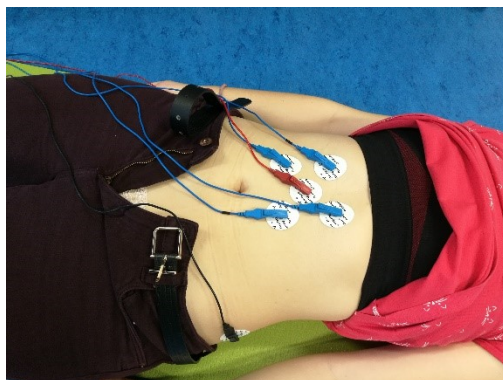
### 8.1 Podmínky měření a postup

V části první byla testovací potravina smetanový jogurt (lipánek, 1017 kJ = 243.063 kcal), v části druhé sendvič (2x tmavý toustový chléb, 2x plátek 30% eidamu a 1x plátek šunky, cca 1065 kJ = 254.535 kcal), v obou případech byl podáván i malý hrnek s teplým čajem.

Bylo nutno dodržet několik zásad před měřením:

- lačnit minimálně 6 hodin,
- nejlépe 2 hodiny před měřením nepít,
- omezit (minimálně 2 dny před měřením) veškerá farmaka ovlivňující motilitu žaludku.

Nejprve byla kůže očištěna kosmetickým tampónem napuštěným lihovým roztokem v oblasti umístění elektrod. Poté byl aplikován vodivý gel, jež se nechal vsáknout do kůže 1 minutu před nalepením šesti Ag/AgCl elektrod. Referenční elektroda se situovala mezi *processus xiphoideus* a pupek, 4 aktivní elektrody byly rozmístěny cca 5 cm od referenční do tvaru čtverce, zemní byla nalepena na bok (viz Obrázek 19). Tato konfigurace byla použita v jedné již zmíněné vědecké studii v rešeršní části (str. 38).



Obrázek 19: Dobrovolník s 4-kanálovým EGG.

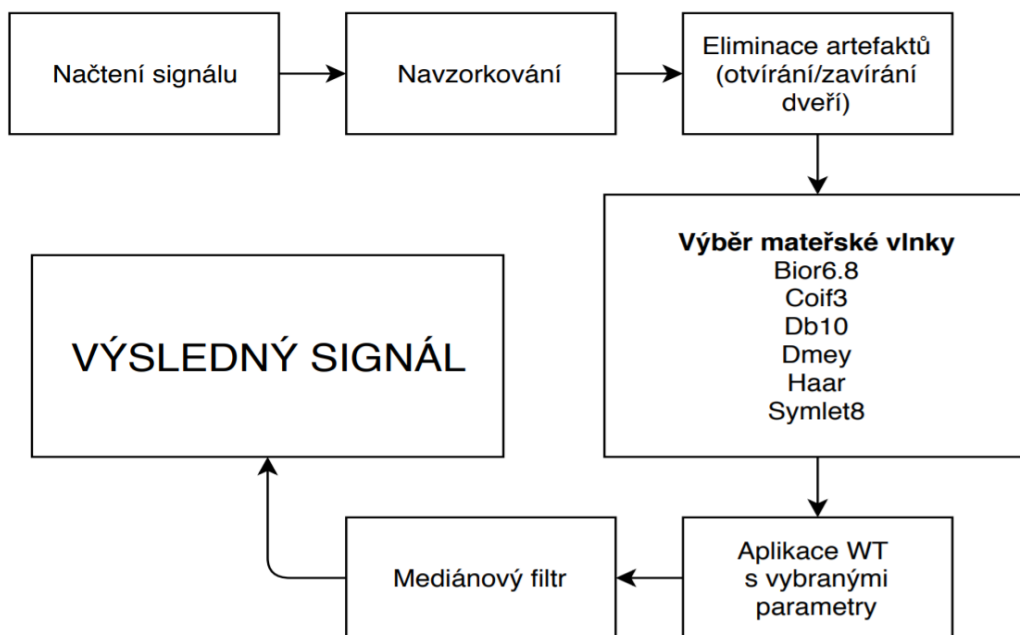
Při prvním testování (s lipánkem) byli dobrovolníci měřeni v sedě, u druhého (se sendvičem) již v leže k zamezení jakémukoli pohybu a zvýšení komfortu.

Před samotným zahájením byli všichni účastníci požádáni o klidný režim, tzn. omezení mluvení a všech nepodstatných pohybů, jež by mohly záznam znehodnotit.

Preprandiální měření probíhalo 10 min, potom bylo podáváno jídlo a pití, přičemž se vyčkávalo cca 15 minut, jelikož žaludek ihned na jídlo nereaguje. Postprandiální měření pak bylo delší, 25 min, právě z toho důvodu, aby došlo k zachycení změn pomalých vln žaludku.

## 9 Preprocessing

Tato kapitola pojednává o předzpracování EGG záznamu (viz Obrázek 20), aby se stal vhodným pro následnou analýzu, v tomto případě časově-frekvenční. Dohromady bylo k dispozici pro testování 124 elektrogastrogramů. Snímání probíhalo dvou nebo čtyř-kanálově (2 skupiny) vždy na 3 až 6 dobrovolnících, přehled naleznete v následující tabulce (Tabulka 6). V obou skupinách téměř každý dobrovolník podstoupil měření se všemi druhy stravy.



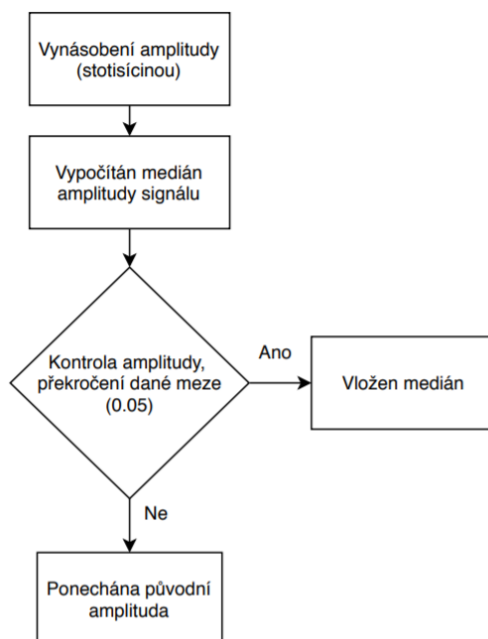
Obrázek 20: Algoritmus pro filtraci EGG signálu.

Tabulka 6: EGG databáze.

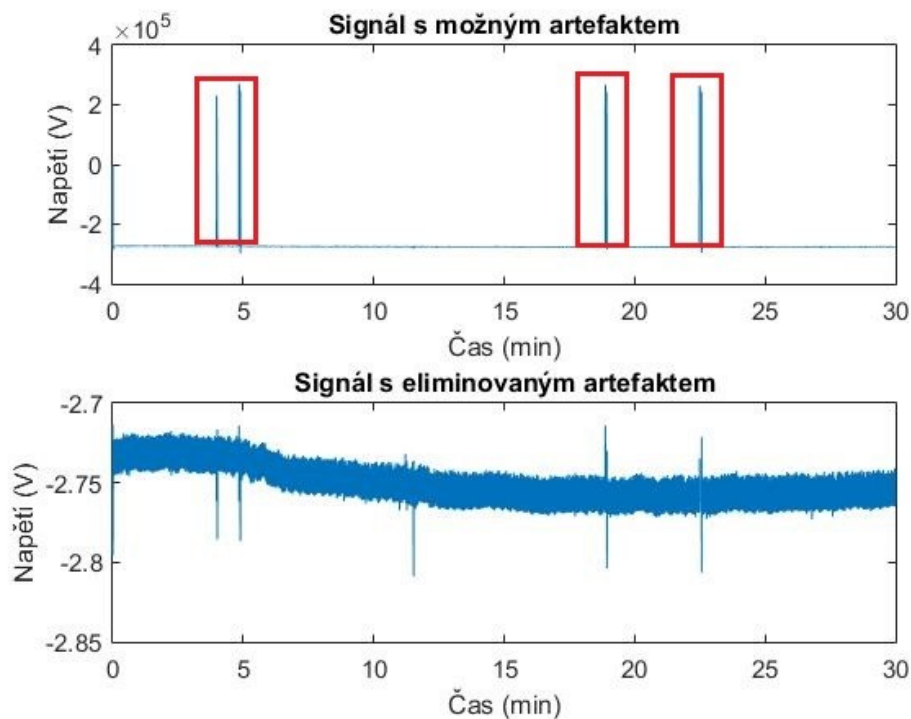
Snímání	Druh stravy	Preprandiální záznam (min)	Prodleva po jídle (min)	Postprandiální záznam (min)	Vzorkovací frekvence (Hz)
2-kanálové	Jogurt	17	15	30	128
	Omeleta s chlebem	16			
	Steak	17		60	
4-kanálové	Sendvič	10		25	256
	Smetanový jogurt				

Nejdříve bylo nutno signál načíst do prostředí MATLAB, poté jej navzorkovat tak, aby časová osa odpovídala reálné době snímání. Vzhledem k velmi citlivému biozesilovači firmy g.tec bylo potřeba odfiltrovat artefakt, který způsobilo otvírání a zavírání dveří (viz Obrázek 22, Obrázek 23). Ne vždy byl přítomen, preventivně byl tento krok proveden u všech testovaných záznamů. Nejprve byla amplituda signálu přenásobena stotisícinou, což zpřehlednilo a zjednodušilo další proces. Odstranění artefaktu

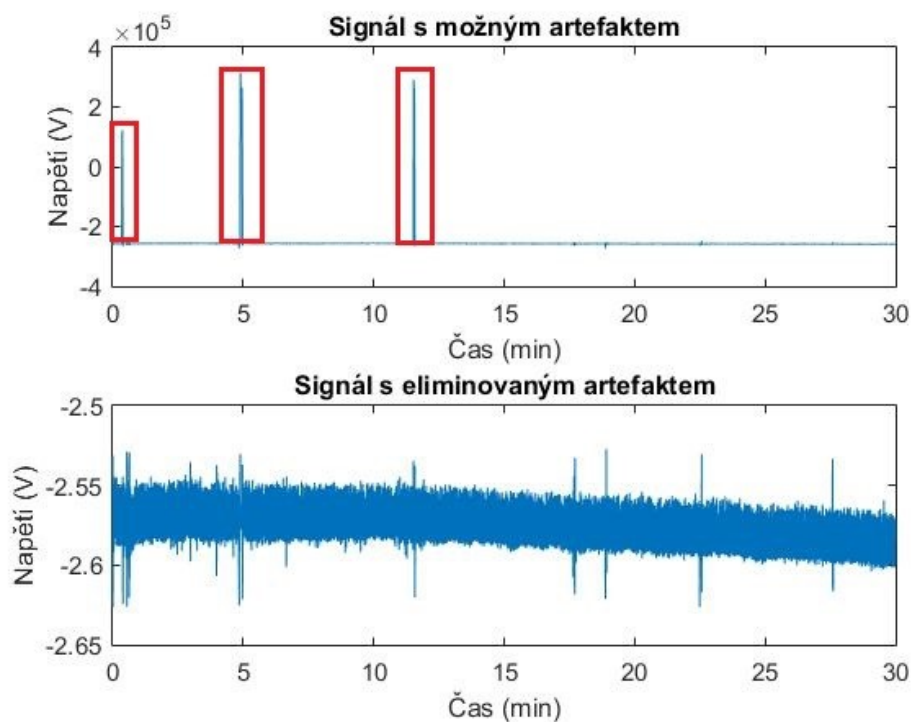
funguje na jednoduchém principu, kdy je zkontrolována amplituda celého signálu a jakmile je přesažena určená mez (konkrétně 0.05 – určeno dle vizuální stránky), na dané místo se vloží medián amplitudy (viz níže – Obrázek 21).



Obrázek 21: Algoritmus pro odstranění otvírání/zavírání dveří.

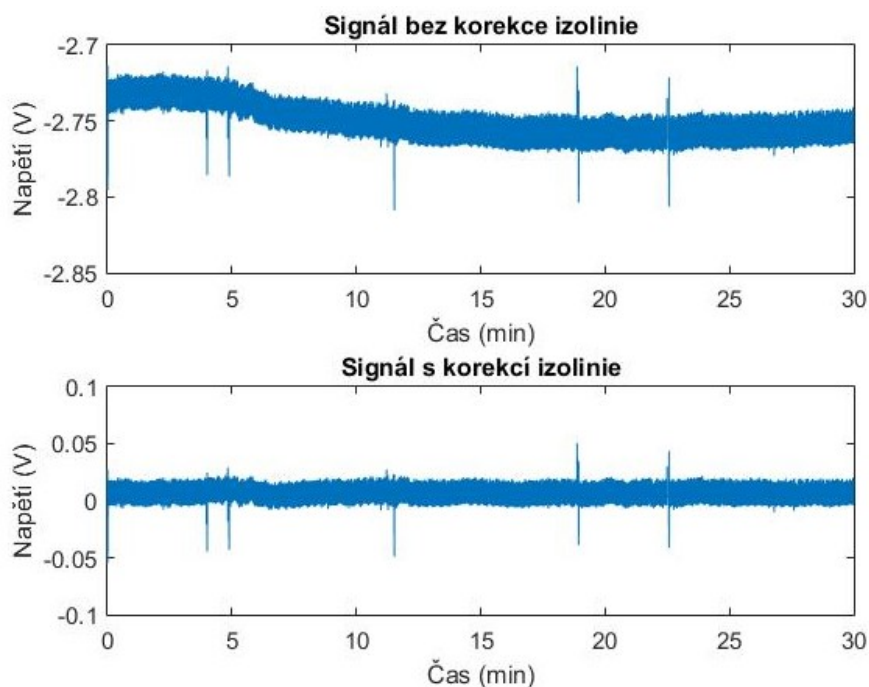


Obrázek 22: Ukázka eliminace artefaktu otvírání/zavírání dveří – vyznačen červeně. Nahoře je signál původní (nasnímaný), ve spodní části signál s odstraněným artefaktem.

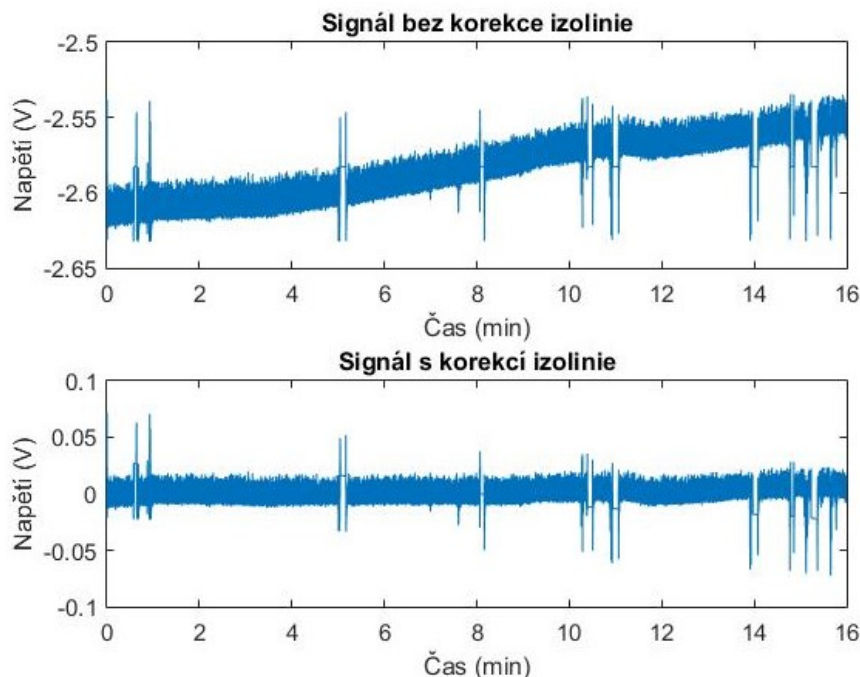


Obrázek 23: Demonstrace eliminace artefaktu otvírání/zavírání dveří – vyznačen červeně. Nahoře je signál původní (nasnímaný), ve spodní části signál s odstraněným artefaktem.

Signál byl poté posunut do nuly díky proložení polynomem 6-tého stupně, jež využívá metody nejmenších čtverců k aproximaci signálu (viz Obrázek 24, Obrázek 25). Korekce izolinie se provedla nejen z důvodu přehlednosti, ale je to předpřipraveno pro další možné analýzy signálu, např. testování velikosti amplitud elektrogastrogramu před a po jídle.



Obrázek 24: Korekce izolinie EGG signálu. Nahoře – původní signál, dole již s korekcí izolinie.



Obrázek 25: Ukázka korekce izolinie EGG signálu. Nahoře – původní signál, dole již s korekcí izolinie.

V dalším kroku bylo nezbytné nalézt trend EGG křivky a jako účinný nástroj byla vybrána vlnková transformace, jež pomocí mateřských vlnek a dalších nastavení tuto možnost nabízí.

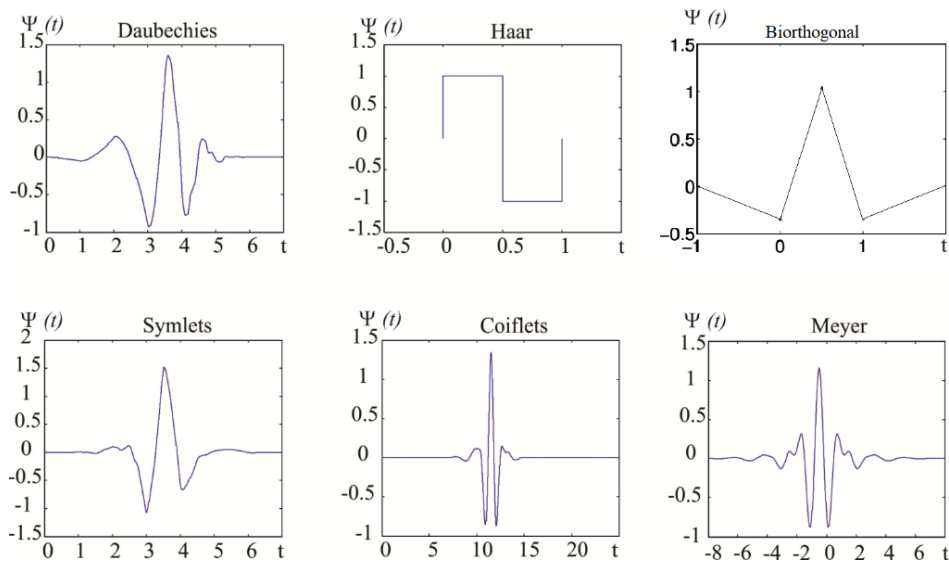
## 9.1 Vlnková transformace

Jedná se o integrální transformaci umožňující časově-frekvenční popis signálu. Aplikuje se právě tehdy, když chceme zjistit polohu a délku trvání daného jevu. Lze ji použít i k odstranění šumu, čehož se hojně využívá v této práci, extrakci příznaků, kompresi signálu, přesné lokalizaci prudkých změn signálu. [14]

Spojitá vlnková transformace (*continuous wavelet transform*, CWT) je operací okenní a patří mezi tzv. víceměřítkové transformace (*multiresolution transform*, MT). Jakmile se v signálu objevují jak velké, tak drobné detaily, lze je díky MT zpracovat odděleně. Jádro je získáno posunutím a roztážením dané báze funkce čili mateřské vlnky (viz Obrázek 26), jež je speciální kauzální finitní funkcí  $\psi(t)$  s nulovou střední hodnotou. Výsledkem jsou vlnkové koeficienty  $Wf(\tau, s)$ :

$$Wf(\tau, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{s}} \overline{\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)} dt, \quad (1)$$

kde  $f(t)$  je analyzovaný signál,  $\psi$  je vlnka,  $\bar{\psi}$  je komplexně sdružená vlnka,  $s$  je měřítko,  $\tau$  je poloha umístění vlnky na časové ose ( $s, \tau \in \mathbb{R}, s \neq 0$ ),  $t$  je čas a člen  $\frac{1}{\sqrt{s}}$  slouží k normalizaci energie vlnky při změnách měřítka. [14]



Obrázek 26: Mateřské vlnky. [15, 16]

Grafické vyjádření koeficientů v rovině  $(\tau, s)$  je často nazýváno jako *scalogram* nebo vlnková mapa (*wavelet map*). [18]

#### Vlastnosti CWT

- Linearita – přímo vyplývá z vlastností skalárního součinu.

$$(W(af_1 + bf_2))(\tau, s) = a(Wf_1)(\tau, s) + b(Wf_2)(\tau, s) \quad (2)$$

- Invariance v čase – popisuje skutečnost, že translace analyzované funkce po časové ose způsobí stejný posun vlnkových koeficientů po ose polohy.

$$W\hat{f}(\tau, s) = Wf(\tau - b, s), \hat{f}(t + b) = f(t) \quad (3)$$

- Dilatace – popisuje závislost mezi transformací originální funkce a její roztaženou či zúženou podobou. V koeficientech vlnky dojde k adekvátnímu roztažení v ose polohy a k posunu v ose měřítka. [18]

$$W\hat{f}(\tau, s) = Wf\left(a\tau, \frac{s}{a}\right), \hat{f} = \sqrt{|a|}f, a \neq 0 \quad (4)$$

Zatímco Fourierova transformace používá pro rozklad signálu do spektrální roviny periodické sinusové (kosinusové) funkce, bázi vlnkové transformace tvoří časově omezené funkce, díky kterým je možno získat informaci nejen o přítomnosti určité frekvence či nespojitosti, ale i o okamžiku jejich výskytu. Hlavní výhodou je, že vlnka osciluje pouze v okolí bodu svého momentálního výskytu, což poskytuje dobrou prostorovou lokalizaci. Díky této vlastnosti se pomocí vlnek lépe vyhodnocují neperiodické a nestacionární signály jako např. elektrogastrogram. [14]



Obečně šum v časové či prostorové oblasti představuje prudké změny amplitudy signálu, přičemž se to do frekvenční oblasti promítne jako výskyt nežádoucích spektrálních složek na vyšších frekvencích. Během dekompozice signálu pomocí waveletovy transformace na aproximační a detailní koeficienty je možno tvrdit, že se šum v něm obsažený, soustředí především v detailních koeficientech obsahující jemné detaily zpracovávaného signálu. [14]

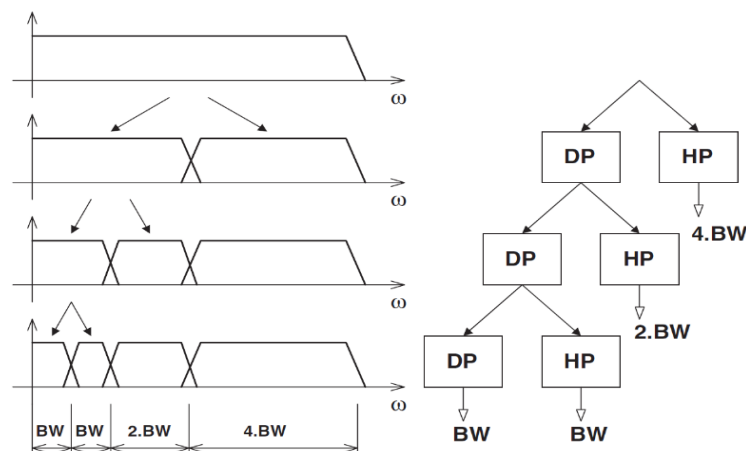
Z EGG signálu byl notch filtrem odfiltrován síťový brum, ovšem jiné artefakty ne. Proto bylo potřeba aplikovat vlnkovou transformaci s optimální mateřskou vlnkou na eliminaci nasuperponovaného EKG signálu. Mateřská vlnka (bázová funkce) určuje základní tvar funkce, vlnka určující měřítko je vlnka otcovská (škálovací funkce). Ostatní odvozené vlnky od těchto dvou se nazývají dceřinné (měřítko, posun). [17]

Diskrétní vlnková transformace (*discrete wavelet transform*, DWT) umožňuje neredundantní dekompozici signálu, tzv. analýzu s mnoha rozlišeními (*multiresolution analysis, decomposition*). Vhodnou dvojkovou závislostí parametrů polohy  $\tau$  a měřítka  $s$  lze vytvořit z vhodné mateřské vlnky ortonormální bázi:

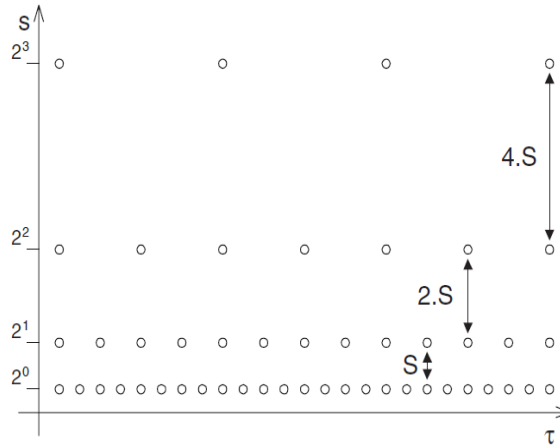
$$s = 2^p; \tau = 2^p k; p, k \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

$$\psi_{k,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^p}} \psi\left(\frac{t - 2^p k}{2^p}\right) \quad (6)$$

kde  $p$  odpovídá měřítku,  $k$  poloze. Vlnková funkce  $\psi$  se chová jako pásmová propust filtrující vstupní signál okolo centrálního kmitočtu, jež je závislý na měřítku mocninou dvou, v následujícím měřítku je filtrována horní polovina pásma předchozí dolnofrekvenční části signálu. S rostoucí frekvencí roste šířka pásma (BW) tohoto filtru (viz Obrázek 27). DWT lze chápat i jako speciálně vzorkovanou CWT, přičemž musí splňovat podmínky: vzorkování časově-měřítkového prostoru musí probíhat na dvojkové mřížce (Obrázek 28), vlnka musí vytvářet ortonormální bázi analyzovaného prostoru a musí mít kompaktní nosič. Výstupy obou filtrů, dolní propust (DP, *scaling filter*) a horní propust (HP, *wavelet filter*) jsou podvzorkovány na polovinu vstupních vzorků. HP poskytuje detailní koeficienty a DP aproximační. Koeficienty aproximace lze dále analyzovat stejnou dekompozicí filtry a obdržet tak další soubor aproximačních a detailních koeficientů. [17]



Obrázek 27: Kmitočtový pohled na DWT. [17]



Obrázek 28: Dvojková mřížka v prostoru čas-měřítko. [17]

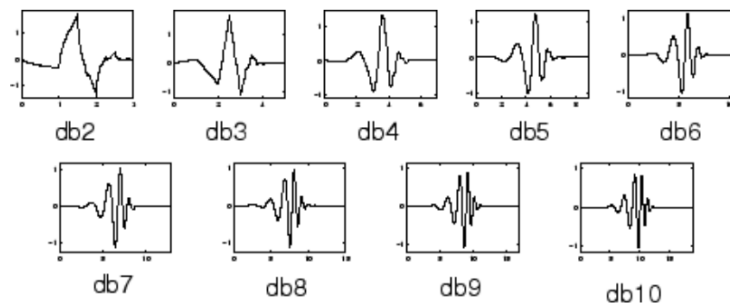
### 9.1.1 Mateřský wavelet

Bylo testováno 6 mateřských vlnek: Haar, Daubechies, Mayer, Coiflet, Symlet a Biortogonální vlnka (viz Obrázek 26). Z Heisenbergova principu neurčitosti vyplývá, že nelze současně určit přesnou frekvenci a lokalizaci v čase. Vhodnou změnou šíře „okna“ v čase a jeho tvarem, lze dosáhnout optimálního poměru rozlišitelnosti v časové i frekvenční doméně. Pro nízké frekvence je vlnka širší, pro vysoké užší, je možno měnit i její parametry, kterými jsou šířka (dilatace) a poloha (translace). [18]

Haarova funkce představuje jednoduchou vlnku, která díky svému tvaru neumožňuje hladkou rekonstrukci signálu, bývá nazývána jako Daubechies prvního řádu (Db1). Je symetrická, ortogonální, vhodná pro diskrétní (DWT) i CWT, jednoduše se implementuje.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0 & \text{jinde} \end{cases} \quad (7)$$

Vlnky Daubechies (viz Obrázek 29) představují skupinu funkcí různého řádu ( $N \geq 1$ ), kromě Db1 nemají explicitní vyjádření. Jsou asymetrické (kromě Db1), rovněž ortogonální a používá se pro DWT i CWT. Vlnky Coiflet představují taktéž skupinu funkcí různého řádu, jsou symetrické, ortogonální, vhodné pro oba druhy WT. Stejnými vlastnostmi disponují i vlnky Symlet, Meyer. Biortogonální vlnky jsou symetrické, nejsou ortogonální, mají různou délku filtrů (počet koeficientů) a tak jako všechny předchozí jsou vhodné pro obě WT. [18, 22]

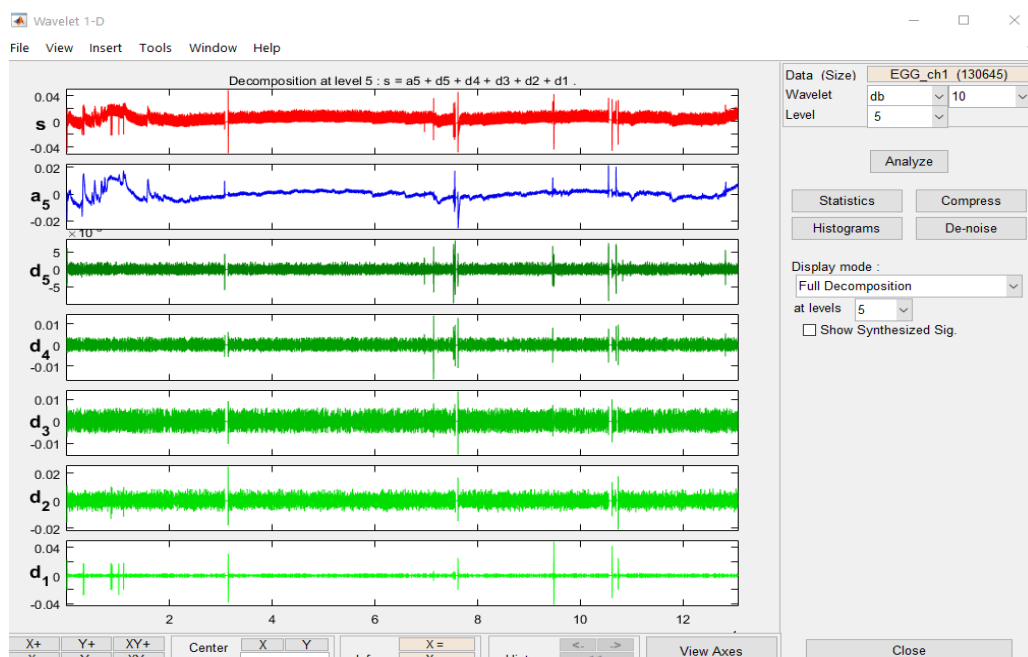


Obrázek 29: Vlnka Daubechies 1–10. [22]

Prostředí MATLAB nabízí mnoho již předpřipravených toolboxů. V *Signal Processing and Communications* je vytvořen *Wavelet Design & Analysis* (viz Obrázek 30). Zde byl zvolen jednodimenzionální wavelet. Díky tomuto nástroji byl např. u vlnek Daubechies vybrán dle vizuální stránky řád, konkrétně Daubechies 10 (viz Obrázek 31). Ten díky svému tvaru může zachovat jemné odchylky v EGG signálu a tím neztratit jeho typické rysy.



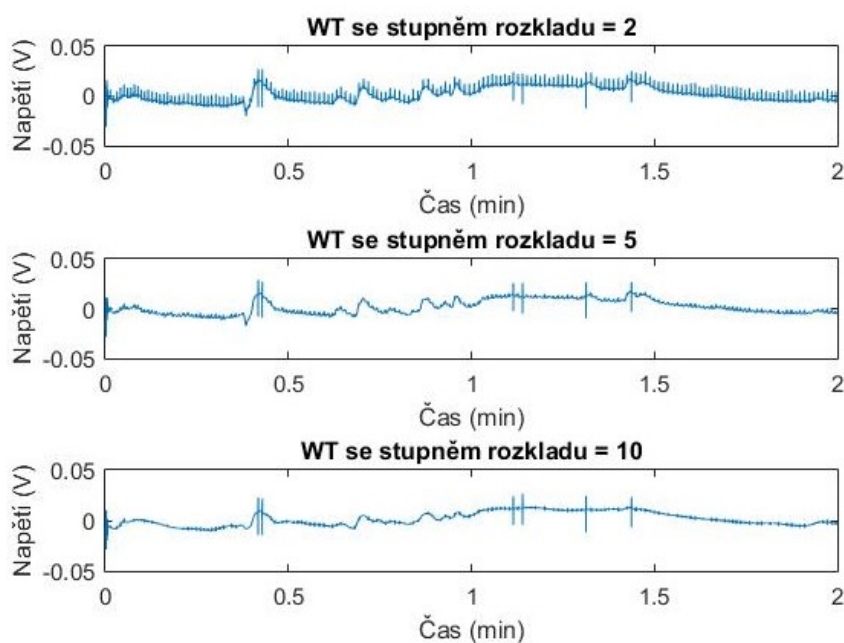
Obrázek 30: Wavelet Toolbox



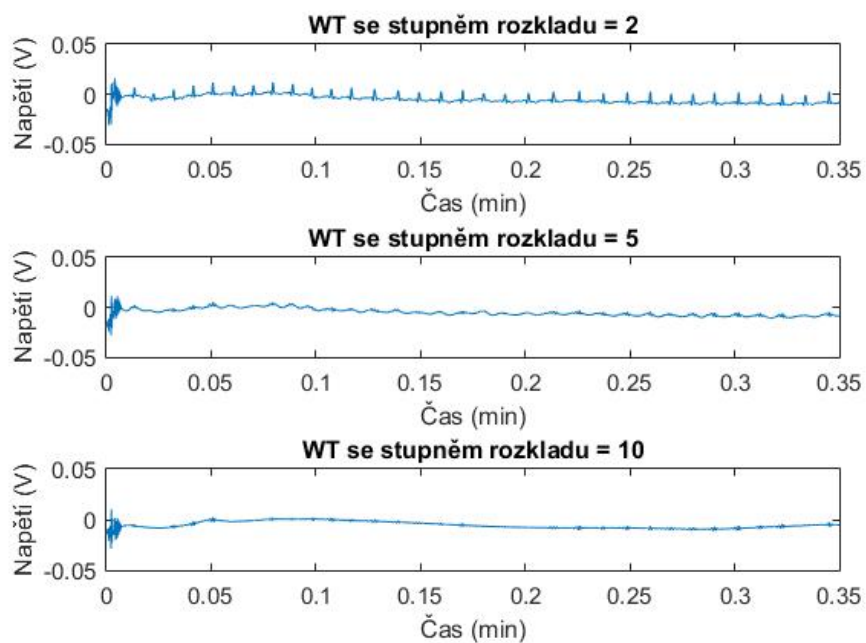
Obrázek 31: Ukázka testování řádu 10 vlnky Daubechies při stupni rozkladu 5 – zobrazení originálního signálu, aproximačního koeficientu a detailních koeficientů.

### 9.1.2 Testování parametrů pro WT v MATLABu

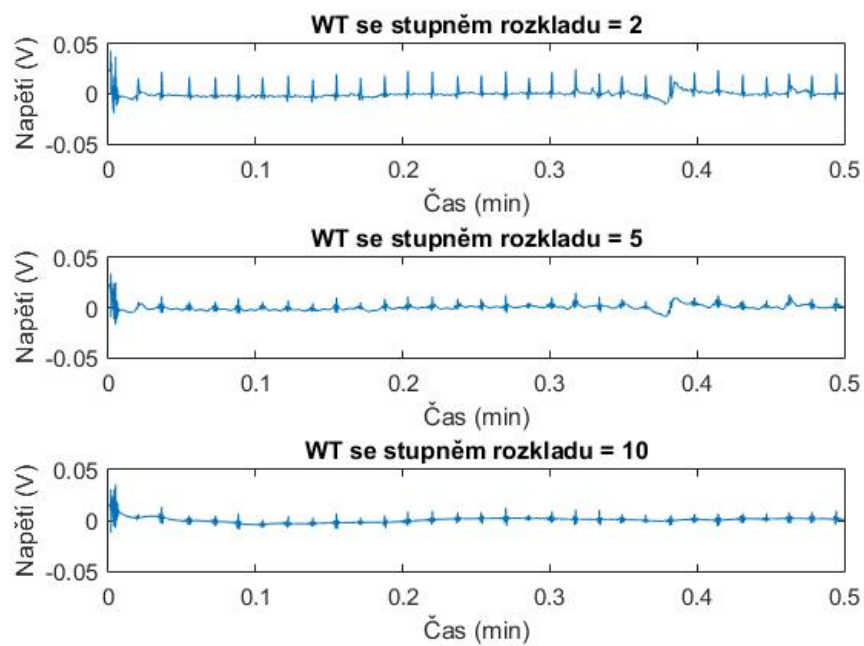
Jak můžete vidět na výše uvedeném snímku (Obrázek 31), důležitým parametrem je stupeň rozkladu (*level*) u vlnkové transformace. Ten nám v podstatě určí počet detailních koeficientů. Na obrázcích (Obrázek 32, Obrázek 33, Obrázek 34) lze pozorovat, že při levelu 2 je v signálu obsažena ve velké míře EKG složka. Při navýšení stupně je nasuperponovaných maxim EKG méně, za optimální byl nakonec zvolen level 5 a byl dále používán při testování dat. Stupeň dekompozice 10 již vykazoval změny v EKG trendu samotném (viz Obrázek 34 – rozdíl mezi levelem 5 a 10).



Obrázek 32: Signál po aplikaci WT s rozdílným stupněm rozkladu (odshora level 2, 5 a 10).

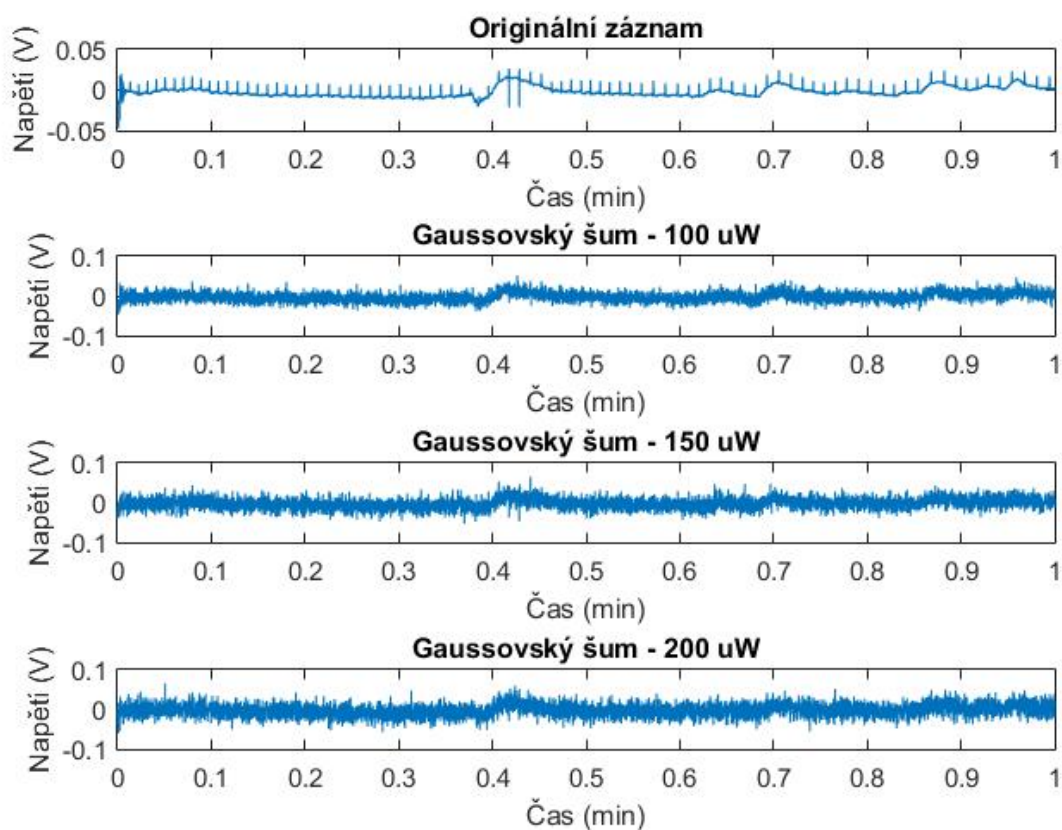


Obrázek 33: Signál (stejný jako předchozí) po aplikaci WT s rozdílným stupněm rozkladu (odshora level 2, 5 a 10).



Obrázek 34: Ukázka dekompozice (odshora 2, 5, 10) dalšího signálu.

Dalším krokem bylo ověření, který mateřský wavelet bude vykazovat nejlepší robustnost pro filtraci EGG signálu. Bylo nutno eliminovat EKG záznam z elektrogastrogramu. Ten signál zatěžoval z toho důvodu, že elektrické potenciály srdce mají mnohem větší amplitudu i frekvenci. Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole (9.1.1), bylo testováno 6 mateřských funkcí. Původní signál, který prošel preprocessingem (navzorkování, eliminace artefaktu z otvírání/zavírání dveří, korekce izolinie) byl uměle zašuměn Gaussovským bílým šumem (*adding Gaussian white noise, AWGN*) s normálním rozložením (střední hodnota je rovna nule). Tento signál má rovnoměrnou výkonovou spektrální hustotu a byl přidáván o síle 100, 150 a 200  $\mu\text{W}$  (Obrázek 35).



Obrázek 35: Původní signál (nahore) s postupně narůstajícím Gaussovským bílým šumem.

Na takto modifikované signály byla aplikována vlnková transformace s vybranou mateřskou vlnkou se stupněm dekompozice 5. Evaluace s původním signálem byla prováděna pomocí 3 parametrů:

- **Korelační koeficient** – je mírou lineární závislosti náhodných veličin  $X, Y$ :

$$\rho(X, Y) = \begin{cases} \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{DX \cdot DY}} \\ 0 & jinak \end{cases} \quad (8)$$

kde  $cov(X, Y)$  je kovariance a rozptyl náhodných veličin  $DX, DY \neq 0$ . Pohybuje se v rozmezí od  $-1$  do  $1$ . V praxi se hodnota koeficientu korelace často interpretuje takto:

Tabulka 7: Hodnocení korelace. [19]

Korelační koeficient	Typ lineární závislosti
$ r  = 0.0$	Neexistující
$ r  \in (0.0, 0.3)$	Velmi slabá
$ r  \in (0.3, 0.7)$	Středně silná
$ r  \in (0.7, 1.0)$	Těsná
$ r  = 1.0$	Funkční

- **Střední kvadratická chyba** – charakterizuje, jaká je „průměrná“ výběrová chyba odhadů přicházející v úvahu ve všech různých výběrech daného rozsahu. Je univerzálním kritériem, jelikož je kombinací 2 vlastností jako malé vychýlení a malý rozptyl. Střední kvadratická chyba (*mean squared error*, MSE) je definována:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (9)$$

kde  $y_t - \hat{y}_t$  je rozptyl odhadu (výběrová chyba). [20]

- **Euklidovská vzdálenost** – podléhá pravidlu nazývajícím se euklidovská metrika. Euklidovská vzdálenost dvou bodů je rovna délce úsečky tyto body spojující.

$$\varrho(A, B) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2} \quad (10)$$

kde  $A = (a_1, a_2) \in R^2$  a  $B = (b_1, b_2) \in R^2$ . [21]

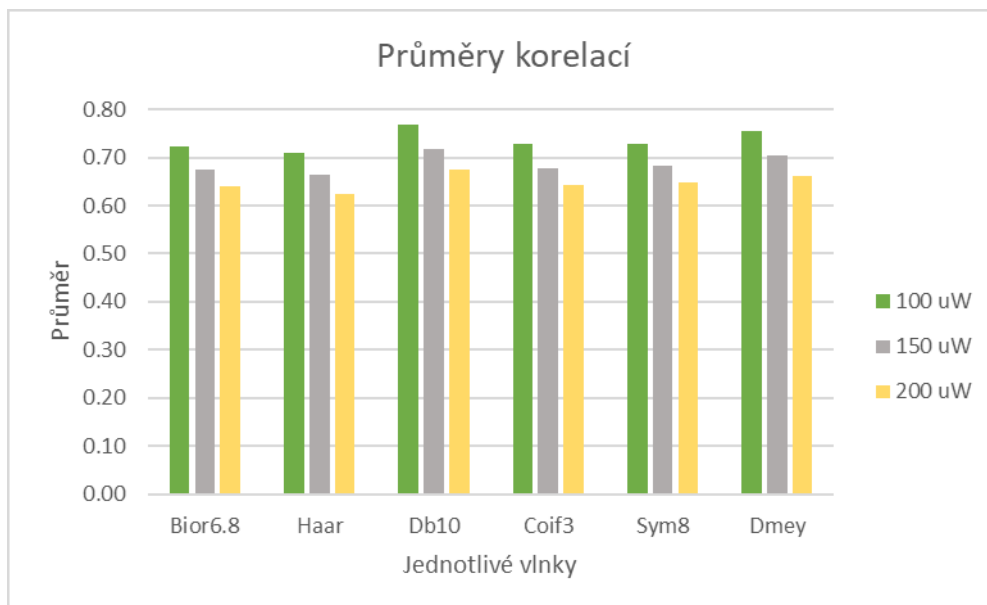
V tomto případě byla kritéria kvality aplikována na 6 signálů. Každý z těchto záznamů byl zašuměn Gaussovským bílým šumem o 3 odlišných výkonech, testovalo se 6 vlnek, dohromady se získalo 108 výsledků do tabulky, jejíž ukázkou můžete vidět níže (Tabulka 8).

Tabulka 8: Evaluace původního signálu a zatíženého šumem po WT s mateřskou vlnkou Daubechies 10, stupněm rozkladu 5.

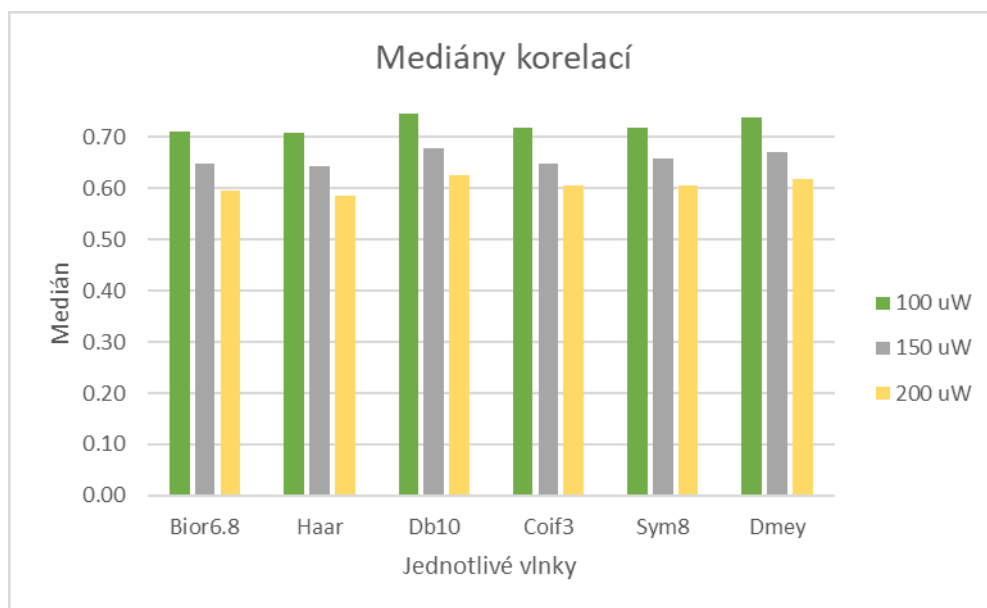
Snímek	Vlnka/level	Šum	Evaluace		
			Korelační koeficient	MSE	Euklidovská vzdálenost
Pacient 1	Db10/5	100 μW	0.8723	0.000004	2.3411
		150 μW	0.8388	0.000005	13.9003
		200 μW	0.7998	0.000007	3.1166
Pacient 2		100 μW	0.9648	0.000004	4.2812
		150 μW	0.9501	0.000005	1.1561
		200 μW	0.9371	0.000007	1.2817
Pacient 3		100 μW	0.6676	0.000005	0.5236
		150 μW	0.6113	0.000007	1.5764
		200 μW	0.5623	0.000008	0.1592
Pacient 4		100 μW	0.6969	0.000004	2.8321
		150 μW	0.6331	0.000005	12.5112
		200 μW	0.5741	0.000007	7.8108
Pacient 5		100 μW	0.7925	0.000003	7.1255
		150 μW	0.7226	0.000005	6.4041
		200 μW	0.6749	0.000006	14.2674
Pacient 6		100 μW	0.6088	0.000007	0.1917
		150 μW	0.5505	0.000009	0.0003
		200 μW	0.5092	0.000010	6.6632

Korelační koeficient u mnohých signálů dosahoval velmi vysokých hodnot, lze je souhrnně hodnotit od velmi silných po těsné lineární závislosti. Střední kvadratická chyba se dle očekávání zvyšovala při rostoucím výkonu bílého šumu a sumace všech euklidovských vzdáleností vykazovala mírné odlišnosti. Může to být způsobeno tím, že šum byl generován náhodně. Čím vyšších hodnot MSE či euklidovská vzdálenost dosahuje, o to víc se odlišují od původního signálu. Aby se mohla vyhodnotit nejvhodnější mateřská vlnka, byly vypočítány průměry a mediány všech korelací při daném výkonu šumu od všech pacientů u jedné báze funkce, a ty byly následně vloženy do grafu, jež můžete vidět na následujících obrázcích (Obrázek 36, Obrázek 37).





Obrázek 36: Průměry korelací signálů s použitím jednotlivých vlnek při odlišných výkonech zašumění.

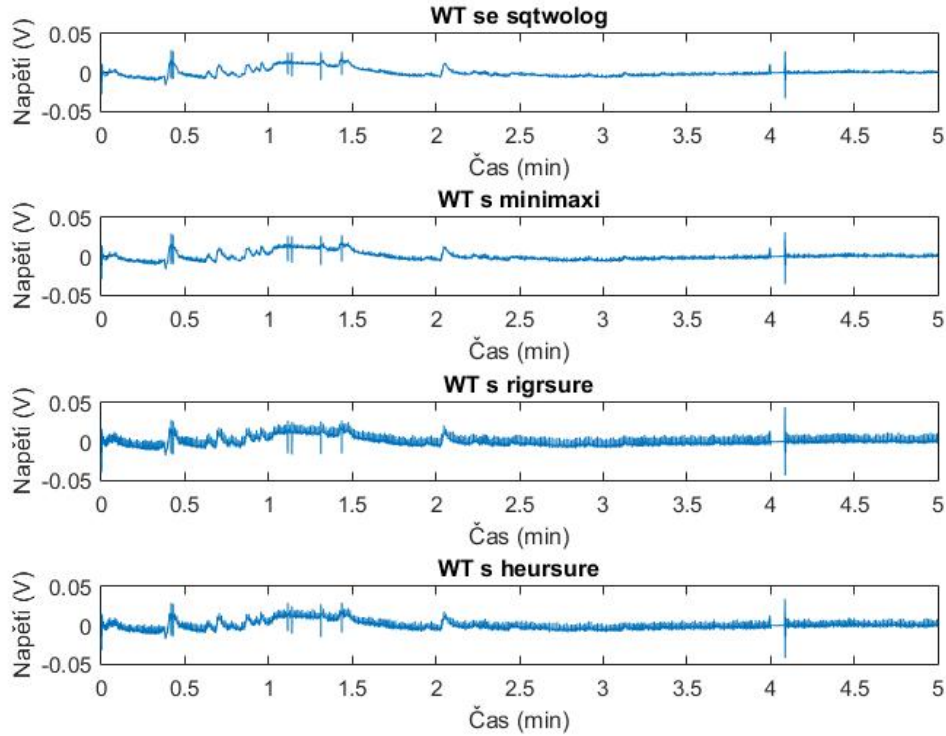


Obrázek 37: Mediány korelací signálů s použitím jednotlivých vlnek při odlišných výkonech zašumění.

Za nejrobustnější mateřskou vlnku byla nakonec zvolena Daubechies 10, jelikož dosahovala nejlepších výsledků korelací v 15 z 18 případů (6 pacientů  $\times$  3 úrovně šumu), dále pak Diskrétní Meyerova vlnka a Symlet 8. Z této analýzy nejhůře dopadla vlnka Haar, je to způsobeno jejím tvarem, jelikož není schopna zachytit hladké struktury. I přesto, že vlnka Daubechies 10 dopadla nejlépe, není možno tvrdit, že by nějaká z testovaných mateřských bází nebyla vůbec vhodná pro filtraci EGG záznamu podle výsledků korelací uvedených výše.

U vlnkové transformace, která funguje na principu konvoluce s mateřskou vlnkou, lze modifikovat ještě další parametry, ku příkladu:

- **Prahovací pravidlo** s universálním prahováním (*sqtwolog*), s použitím minim a maxim (*minimaxi*), s přísným (*rigrsure*) či heuristickým (*heursure*) Steinovým nestranným odhadem střední kvadratické chyby.

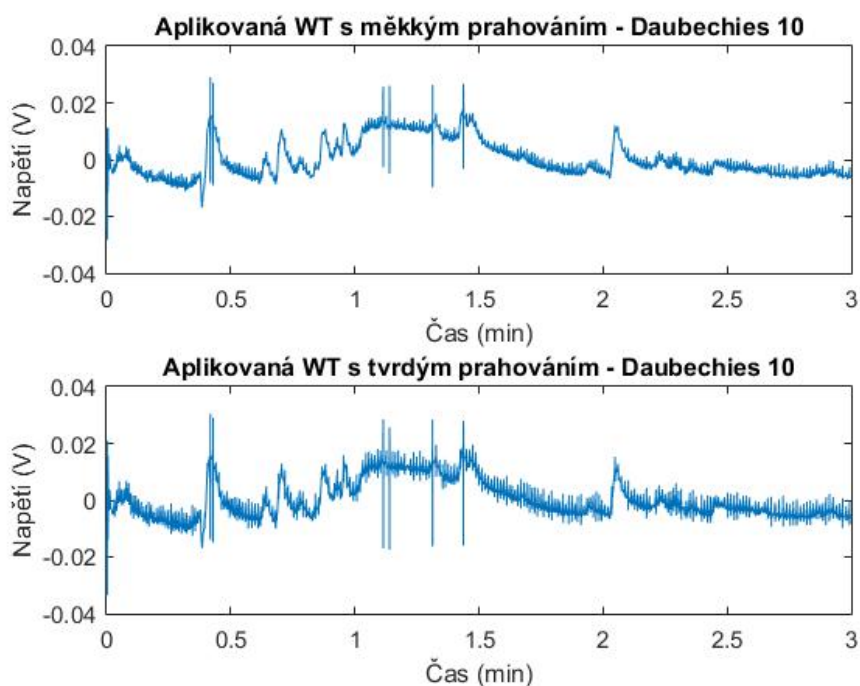


Obrázek 38: Zobrazení všech aplikovaných prahovacích pravidel (Db10).

- **Typ prahování** – měkké prahování využívající fuzzy logiku (*s*) nebo tvrdé dvoustavové prahování (*h*). Při použití tvrdého prahování zůstávají vlnkové koeficienty beze změny, jestliže je jejich absolutní hodnota větší než práh, v případě opačném se nahradí nulami. U měkkého prahování to funguje tak, že jsou nejdříve vynulovány elementy, jež mají absolutní hodnotu menší, než je stanovený práh, následně se upraví nenulové vlnkové koeficienty směrem k počátku, viz rovnice uvedená níže. Měkké prahování eliminuje vznik nespojitostí během procesu na rozdíl od tvrdého.

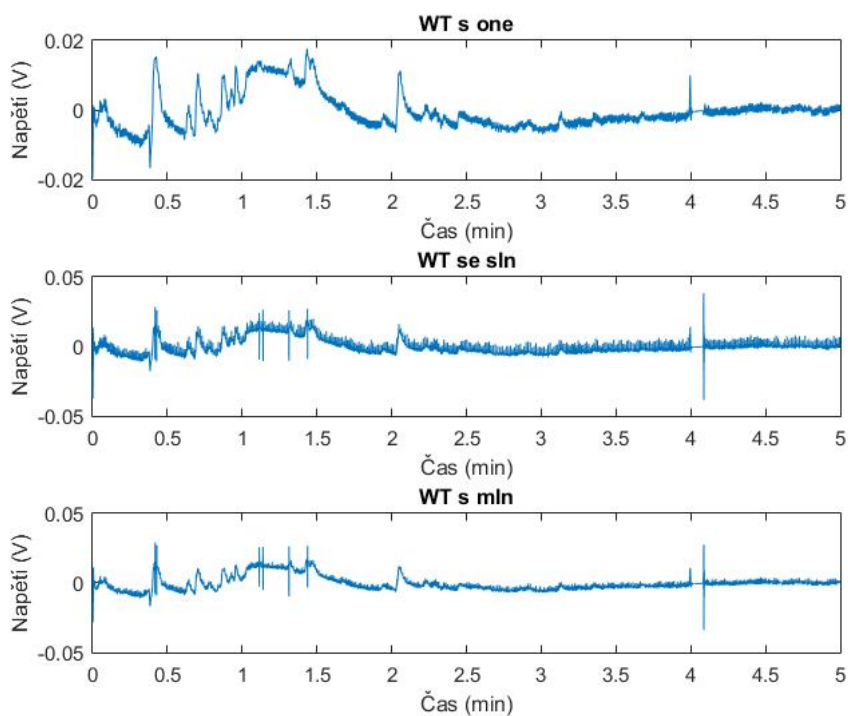
$$w' = \begin{cases} \text{sgn}(w) \cdot (|w| - th), & |w| \geq th \\ 0, & |w| < th \end{cases} \quad (11)$$

Kde  $\text{sgn}(w)$  je znaménková funkce koeficientu WT a  $th$  je stanovený práh. [14]



Obrázek 39: Aplikace měkkého (nahore) a tvrdého (dole) prahování.

- **Multiplikativní změna měřítka prahování** s žádnou změnou měřítka (*one*), se změnou měřítka využívající jediného odhadu hladiny šumu na základě koeficientů 1. úrovně (*sln*) nebo využívající vícero odhadů hladiny šumu (*mln*).



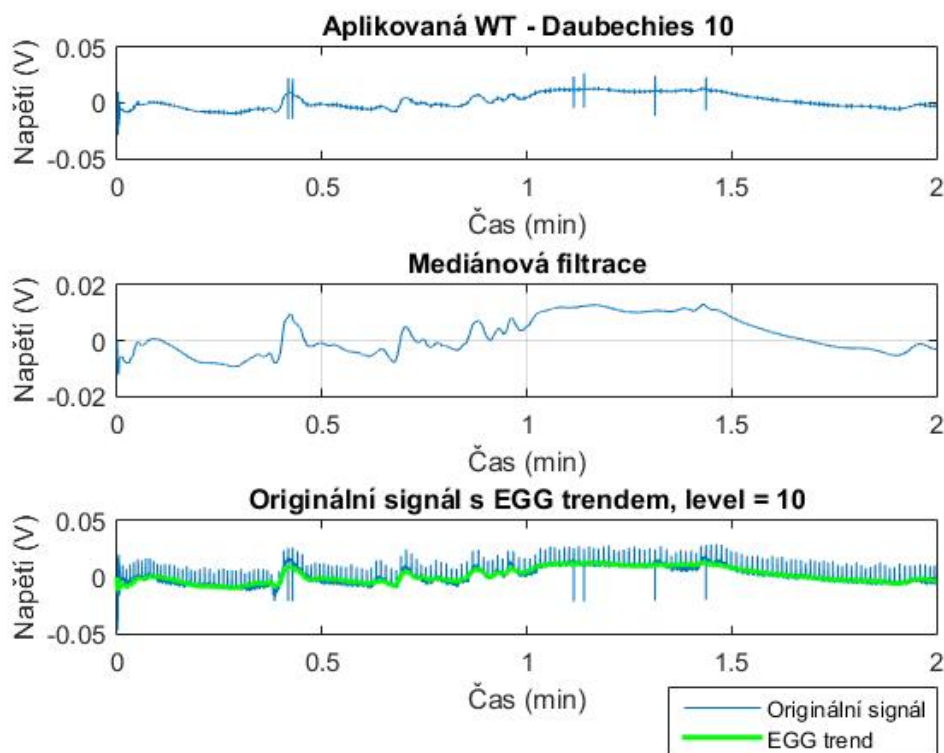
Obrázek 40: Zobrazení všech nastavení pro multiplikativní změnu měřítka prahování (Db10).

Na základě výše uvedených snímků (Obrázek 38, Obrázek 39, Obrázek 40) je možno vidět výsledky po všech variantách nastavení prahování vlnkové transformace. V této práci se prakticky ve veškerých případech používalo universální prahovací pravidlo, měkké prahování a změna měřítka využívající mnoho odhadů hladiny šumu dle vizuálního hodnocení. Lze doporučit i bez změny měřítka. Takto nastavená WT dokonce vykazovala lepší výsledky než při multi-odhadu. Nakonec preprocessingu byl ale použit mediánový filtr, který nedostatky úplně vyhladil a výsledky předzpracování byly v obou případech srovnatelné.

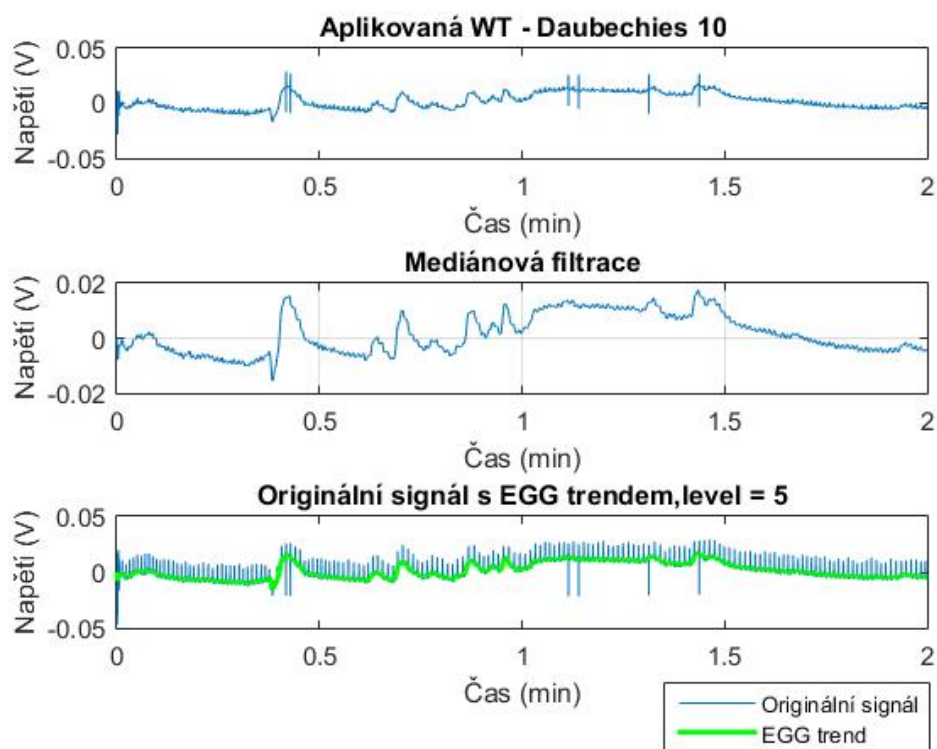
## 9.2 Mediánový filtr

Mediánový filtr je jedním z nejpoužívanějších v oblasti zpracování obrazu sloužící k vyhlazení. Tak jako vyhlazuje obraz, dokáže vyhladit i signál a díky této vlastnosti byl zvolen. Jedná se o nelineární filtr, kdy vybírá z okolí vhodnou hodnotu, kterou do určitého upravovaného bodu dosadí. [23]

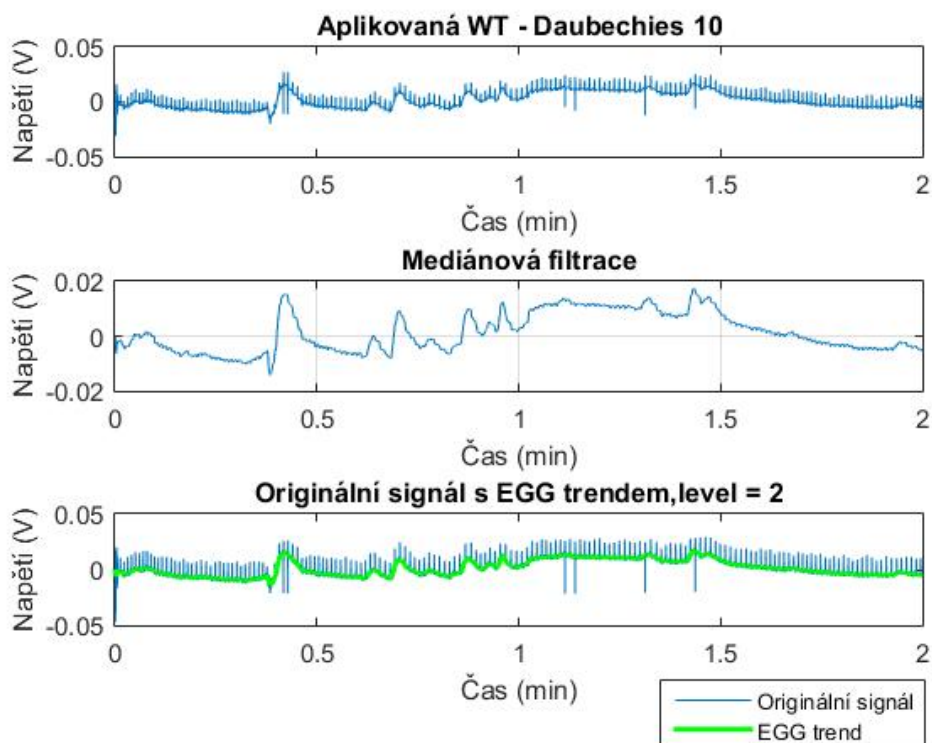
Funguje na principu plujícího „okna“, jehož jádro (o velikosti 50) se pohybuje přes celý signál. Velikost jádra byla zvolena tak, aby optimálně vyfiltroval elektrogastrogram se vzorkovací frekvencí 128 nebo 256 Hz od zbylého elektrokardiogramu, jež se nepodařilo odfiltrovat pouze pomocí vlnkové transformace. Na následujících obrázcích (Obrázek 41, Obrázek 42, Obrázek 43) lze vidět, že mediánový filtr dokázal efektivně eliminovat elektrogastrogram od EKG maxim, jež tam zůstala díky zvolenému stupni rozkladu a dalším parametrům. Při použití mediánového filtru u WT se stupněm rozkladu 2 a 5 se výsledky zdají srovnatelné, ovšem před aplikací filtru na signál po WT s dekompozicí 2, byl přítomen četnější počet nasuperponovaných EKG vln i kmitů. Z tohoto důvodu byl zvolen za neoptimálnější právě stupeň rozkladu 5.



Obrázek 41: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahoře je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 10, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrovaný s vyznačeným EGG trendem.



Obrázek 42: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahoře je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 5, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrovaný s vyznačeným EGG trendem.



Obrázek 43: Aplikovaný mediánový filtr na signál po WT (Db10). Nahoře je signál vyfiltrován WT se stupněm rozkladu 2, uprostřed je po použití mediánového filtru a ve spodní části se nachází signál původní – nevyfiltrovaný s vyznačeným EGG trendem.

## 10 Časově-frekvenční analýza

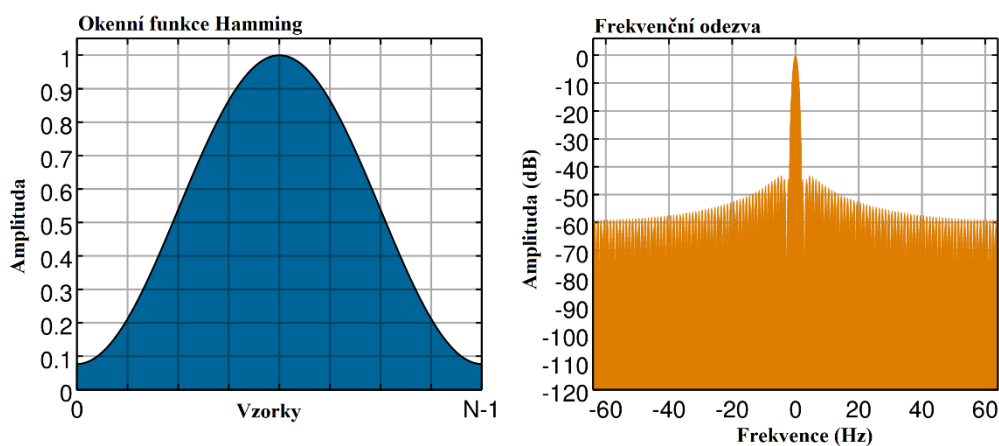
Aplikací časově-frekvenční analýzy na elektrogastrogram se získá přehled o rozložení frekvencí v daných časových okamžicích a jeho intenzitě (též amplituda či výkon). Velký důraz je kladen na výběr kritérií, které nám určí výsledné spektrum.

Nejjednodušší časově-kmitočtovou analýzu lze provést pomocí krátkodobé Fourierovy transformace (*short-time Fourier transform*, STFT) v podobě rozdělení signálu na stejně dlouhé úseky, jež jsou zvlášť podrobeny rychlé Fourierově transformaci (*fast Fourier transform*, FFT). Tyto úseky se mohou překrývat, aby se zamezilo nepřesnostem na jejich hranicích. Malé nebo žádné překrytí zajišťuje rychlý časový posun po signále, malé nároky na paměť/procesor, ovšem hodnoty parametrů se mohou od jednoho rámce ke druhému hodně lišit. Velké překrytí zajišťuje pomalý časový posun, „vyhlazuje“ průběhy, avšak má vysoké nároky na paměť/procesor. Na výsledný efekt má vliv způsob, jakým dojde k rozdělení, respektive jaká funkce byla použita. Tato funkce se nazývá okenní. [24, 26]

### 10.1 Okenní funkce

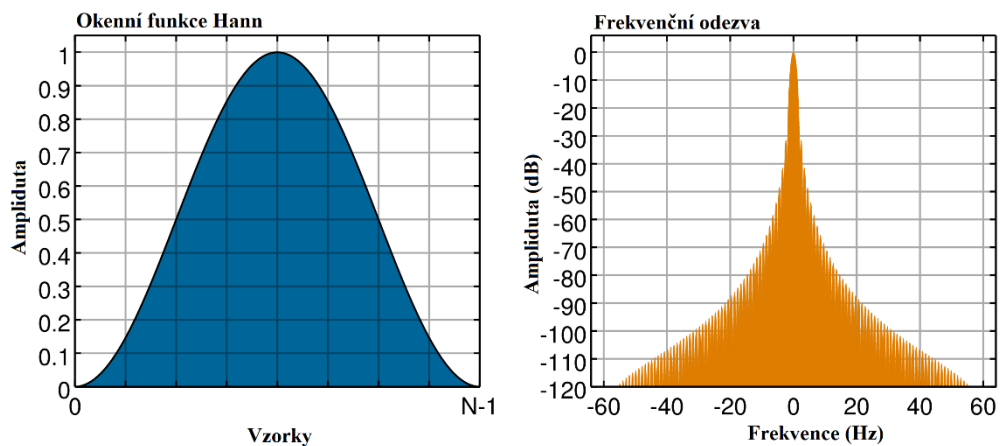
Funkce symetrického datového „okna“ je často používána v oboru zpracování signálů a jedná se o funkci, která disponuje nenulovou hodnotou jen na krátkém časovém úseku. Toto „okno“ má vliv nejen na zpracováváný záznam, ale i na výsledné spektrum. Pouhé rozčlenění signálu na obdélníková „okna“ není dobré, jelikož jsou na rozhraní oken nespojitosti, ty by se ve spektru projevíly jako nežádoucí vysoké frekvence. Signál se proto obvykle konvoluje s tlumící váhovou funkcí, např. Hammingova funkce, která zajišťuje nulovou hodnotu signálu na okraji a vně „okna“. [24, 25, 26]

V této práci byla testována dvě „okna“ (Hann, Hamming, viz Obrázek 44, Obrázek 45) a různé varianty délky „okna“ a překrytí. Záznamy byly vzorkovány kmitočtem 128 nebo 256 Hz, délka „okna“ byla buď 512 s překrytím 3/4 nebo 1024 s překrytím 1/2, 3/4 nebo 7/8 délky okenní funkce. Tímto se minimalizovalo zanesení chyby do oblasti vysokých kmitočtů.



Obrázek 44: Okenní funkce Hamming s frekvenční odezvou. [25]



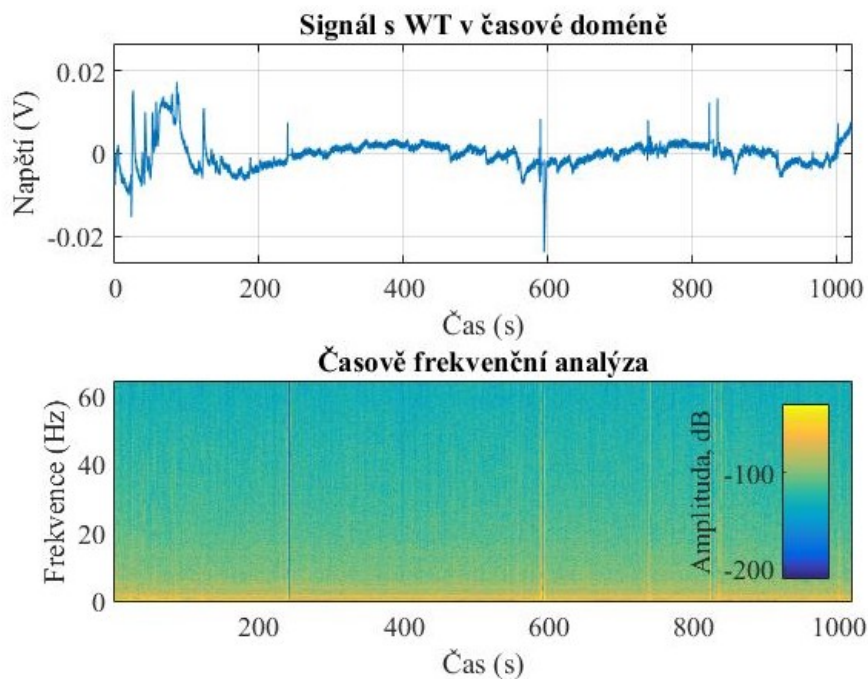


Obrázek 45: Okenní funkce Hann s frekvenční odezvou. [25]

Hammingovo „okno“ je vhodný na náhodné signály a blízké sinusové vlny. Disponuje dobrým frekvenčním rozlišením, má dostatečný spektrální rozptyl a amplitudové rozlišení. Okenní funkce Hann je rovněž vhodný na náhodné signály, má dobré frekvenční rozlišení včetně spektrálního rozptylu a uspokojivé amplitudové rozlišení. [26]

Z toho důvodu byly obě funkce testovány na elektrogastrogram, jež vykazuje ve svém časovém průběhu nahodilé jevy.

Pomocí STFT, délky časového „okna“, posunu, překrytí a typu okenní funkce se signál v časové doméně změní na spektrogram v časově-frekvenční. Výsledný spektrogram je graf zobrazující intenzitu frekvenčních složek v čase, kdy čas je typicky na ose vodorovné, frekvence na svislé a intenzita je kódována barevně (viz Obrázek 46).

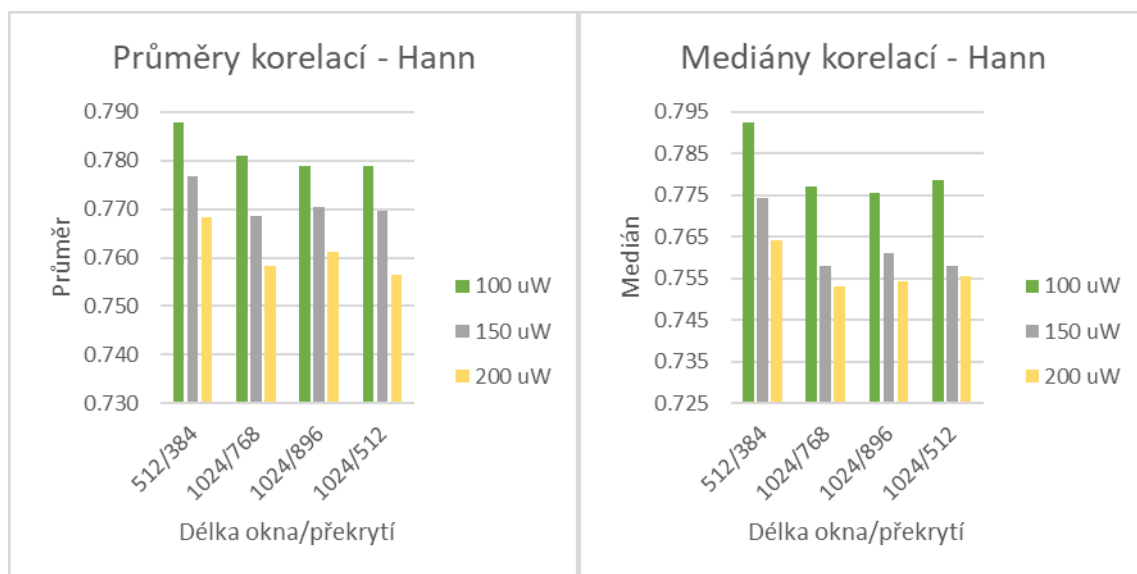


Obrázek 46: V horní části je signál v časové doméně po WT (Db10, level = 5, soft...), v části spodní je spektrogram (Hann, délka „okna“ 512, překryv 384).

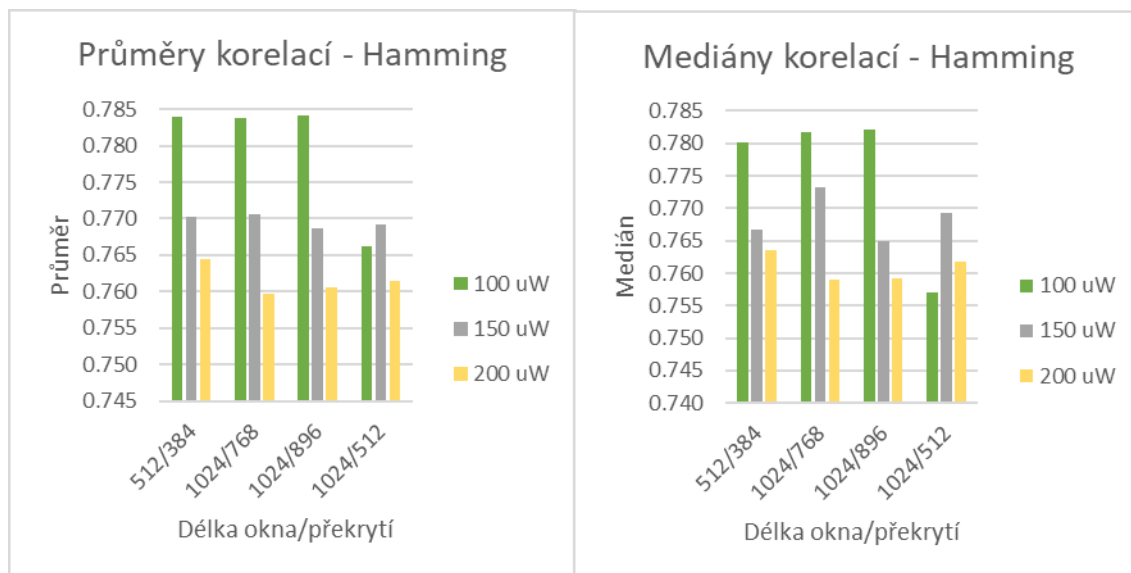


## 10.2 Testování parametrů pro časově-frekvenční analýzu v MATLABu

Tak jako u se vlnkové transformace testovaly mateřské vlnky, u krátkodobé Fourierovy transformace byla hledána optimální okenní funkce. Jak již bylo zmíněno, symetrické datové „okno“ bylo typu Hann nebo Hamming s různými délkami a překrytím. Vybíraly se záznamy z kanálů od 6 dobrovolníků, kteří podstoupili experimentální měření. Tyto signály byly opět zatíženy šumem o různých výkonech jako tomu bylo v předchozí kapitole (9.1.2), a na takto modifikované záznamy po WT (optimální nastavení, tzn. Db10, level = 5, soft prahování...) a mediánovém filtru byl aplikován algoritmus STFT.



Obrázek 47: Průměry a mediány korelací spekter po STFT s funkcí Hann při odlišných výkonech zašumění.

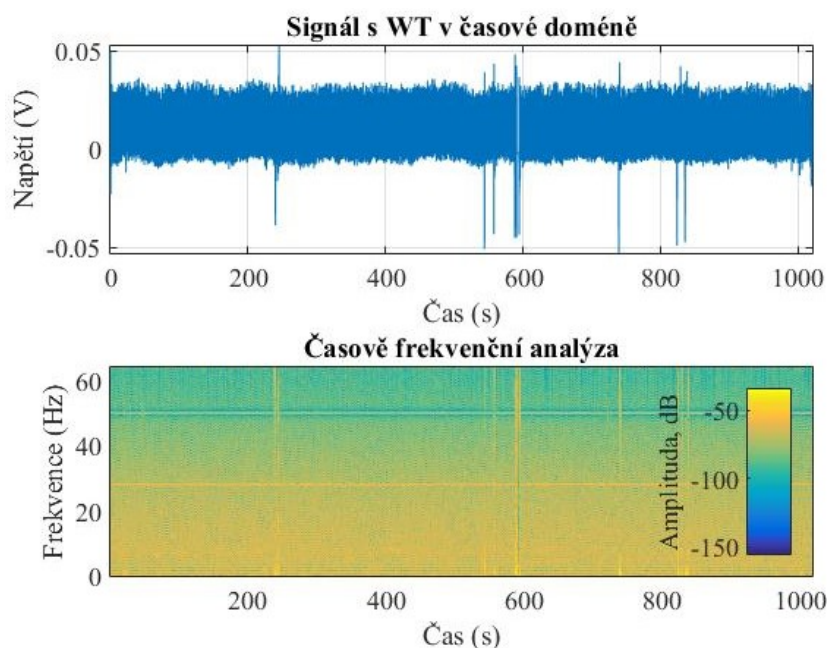


Obrázek 48: Průměry a mediány korelací spekter po STFT s funkcí Hamming při odlišných výkonech zašumění.

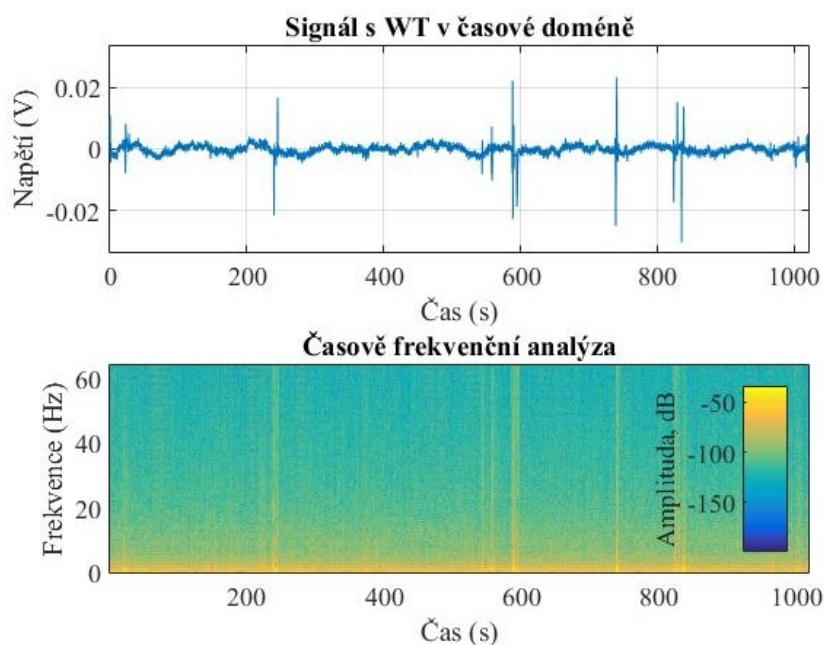
Dle výše uvedených snímků (Obrázek 47, Obrázek 48) můžeme pozorovat velmi malé rozdíly, co se týká jak typů okenních funkcí, tak nastavení parametrů – délky „okna“ a překryv. Vzhledem k tomu, že bylo požadováno zachování jak dobrého časového, tak i frekvenčního rozlišení, byla zvolena

varianta první čili datové „okno“ Hann s délkou 512 a překryvem 3/4 délky okenní funkce. Z 18 spekter (6 dobrovolníků  $\times$  3 odlišné šumy) mělo nejlepší výsledky 12 při testování „okna“ Hann právě s vybranými parametry (optimálními, viz Obrázek 46). Pro zdařilou časově-frekvenční analýzu je nutná znalost Heisenbergova principu neurčitosti právě z toho důvodu, že prodloužení délky „okna“ zhorší časové, ale naopak zlepší kmitočtové rozlišení. Zkrácení okenní funkce má následky opačné.

Byla porovnávána spektra před WT a po ni, aby bylo jasně vidět, zda byla filtrace elektrogastrogramu úspěšná. To můžeme sledovat na následujících snímcích (Obrázek 49, Obrázek 50).



Obrázek 49: Časově frekvenční analýza signálu nevyfiltrovaného WT (Hamming, délka „okna“ 512, překryv 384).



Obrázek 50: Časově frekvenční analýza signálu vyfiltrovaného WT (Hamming, délka „okna“ 512, překryv 384).

Po filtraci mateřskou vlnkou (optimální nastavení) je difference mezi spektry značná, lze vidět změny intenzit na nízkých kmitočtech, kde se nachází myoelektrické potenciály, pomalé vlny, žaludku na nízkých kmitočtech byly zaznamenány nižší intenzity útlumů.

Aby byla časově-frekvenční analýza rozšířena, ze spektra byly vytaženy frekvence blízké pomalé vlně v elektrogastrogramu a to 1.878 cpm (0.0313 Hz, bradygastrie), 3.75 cpm (0.0625 Hz, téměř normogastrie) a 5.628 cpm (0.0938 Hz, tachygastrie). Byl vybrán jeden dataset obsahující 3 pacienty, kde se testovala 3 jídla (jogurt, omeleta s chlebem a steak). U každého testovaného jídla byla provedena menší analýza, co se týká průměrných výkonů (Tabulka 9), mediánu výkonů (Tabulka 10) před a po jídle i jejich rozptyly (Tabulka 11) a směrodatné odchylky (Tabulka 12), vše je uvedeno níže.

Tabulka 9: Průměry výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem.

Průměr výkonu PŘED									
Data	Jogurt			Omeleta s chlebem			Steak		
	Frekvence (cpm)								
	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628
Pacient 1	-51.0	-51.2	-51.6	-63.0	-63.0	-63.2	-64.5	-64.6	-64.9
Pacient 2	-47.2	-47.2	-47.5	-55.1	-55.0	-55.1	-102.8	-102.6	-102.5
Pacient 3	-58.1	-58.1	-58.3	-65.1	-65.1	-65.4	-61.5	-61.5	-61.6
Průměr výkonu PO									
Pacient 1	-57.0	-56.9	-57.0	-57.9	-58.1	-58.5	-39.7	-39.9	-40.3
Pacient 2	-58.1	-58.1	-57.8	-61.9	-61.9	-62.3	-89.0	-89.0	-89.3
Pacient 3	-55.7	-55.6	-55.8	-65.1	-65.2	-65.5	-50.5	-50.6	-51.0

Tabulka 10: Mediány výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem.

Medián výkonu PŘED									
Data	Jogurt			Omeleta s chlebem			Steak		
	Frekvence (cpm)								
	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628
Pacient 1	-48.8	-49.1	-49.7	-62.1	-62.2	-62.5	-62.8	-63.1	-63.6
Pacient 2	-46.6	-46.7	-47.0	-55.7	-55.6	-56.0	-101.0	-101.1	-101.4
Pacient 3	-56.1	-56.3	-56.8	-64.5	-64.7	-65.2	-59.9	-60.1	-60.5
Medián výkonu PO									
Pacient 1	-55.5	-55.7	-56.1	-56.2	-56.6	-57.1	-39.4	-39.7	-40.2
Pacient 2	-57.4	-57.5	-57.4	-59.6	-59.9	-60.4	-89.7	-90.1	-90.6
Pacient 3	-53.7	-54.1	-54.6	-63.2	-63.5	-64.0	-49.9	-50.0	-50.5

V tabulkách (Tabulka 9, Tabulka 10) lze vidět průměrné hodnoty a mediány výkonů od 3 pacientů před a po různých testovacích jídlech. Výkony u jednotlivých pacientů nalačno před testováním se lišily, je to dáno jak vnějšími, tak vnitřními podmínkami (měření probíhalo v různých dnech, psychologické rozpoložení, doba lačnění...). Po jogurtu došlo k menším útlumům výkonu u jednoho ze tří pacientů (Pacient 3), po omeletě se zmenšil nebo zůstal stejný u 2 (Pacient 1 a 3), po steaku se nižší útlum

prokázal u všech 3. Tento výkon s velkou pravděpodobností úzce souvisí s klasifikací elektrických potenciálů žaludku (bradygastrie, normogastrie a tachygastrie).

Tabulka 11: Rozptyly výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem.

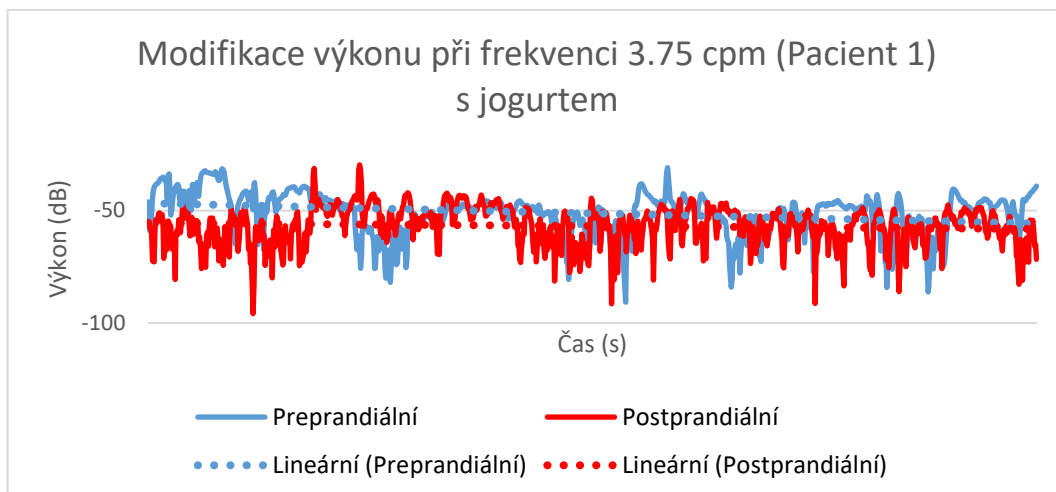
Rozptyl PŘED									
Data	Jogurt			Omeleta s chlebem			Steak		
	Frekvence (cpm)								
	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628
Pacient 1	94.8	90.2	86.8	95.4	88.8	85.1	71.5	64.5	58.7
Pacient 2	100.6	92.8	86.8	168.7	155.9	147.2	78.0	67.0	57.5
Pacient 3	79.3	70.7	65.0	100.4	92.4	87.0	72.2	63.7	57.0
Rozptyl PO									
Pacient 1	82.5	71.6	63.5	90.6	83.4	78.0	90.3	88.3	86.9
Pacient 2	78.9	67.0	58.7	94.8	87.6	82.2	131.6	125.0	119.5
Pacient 3	80.5	71.0	64.0	78.8	68.3	61.4	85.9	78.8	73.4

Tabulka 12: Směrodatné odchylky výkonů v preprandiálním a postprandiálním záznamu u pacientů s daným testovacím jídlem.

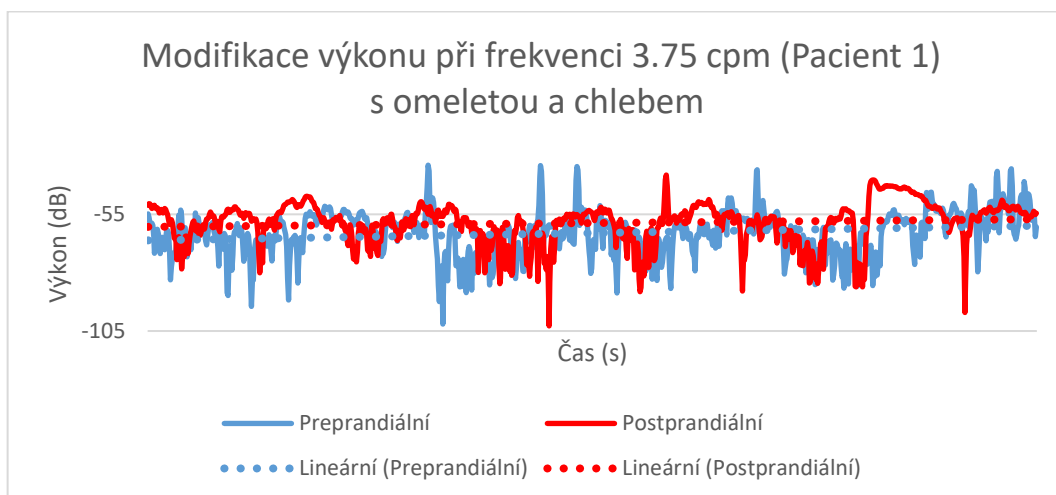
Směrodatná odchylka PŘED									
Data	Jogurt			Omeleta s chlebem			Steak		
	Frekvence (cpm)								
	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628	1.878	3.75	5.628
Pacient 1	9.7	9.5	9.3	9.8	9.4	9.2	8.5	8.0	7.7
Pacient 2	10.0	9.6	9.3	13.0	12.5	12.1	8.8	8.2	7.6
Pacient 3	8.9	8.4	8.1	10.0	9.6	9.3	8.5	8.0	7.5
Směrodatná odchylka PO									
Pacient 1	9.1	8.5	8.0	9.5	9.1	8.8	9.5	9.4	9.3
Pacient 2	8.9	8.2	7.7	9.7	9.4	9.1	11.5	11.2	10.9
Pacient 3	9.0	8.4	8.0	8.9	8.3	7.8	9.3	8.9	8.6

Z tabulek (Tabulka 11, Tabulka 12) je zřejmé, že směrodatná odchylka záznamů před a po požití jogurtu zůstala téměř stejná, po omeletě došlo u všech 3 subjektů ke snížení a po steaku naopak ke zvýšení. Rozptyl se ve všech testovaných jídlech snížil, až na měření se steakem. Ten naopak zaznamenává vysoký nárůst.

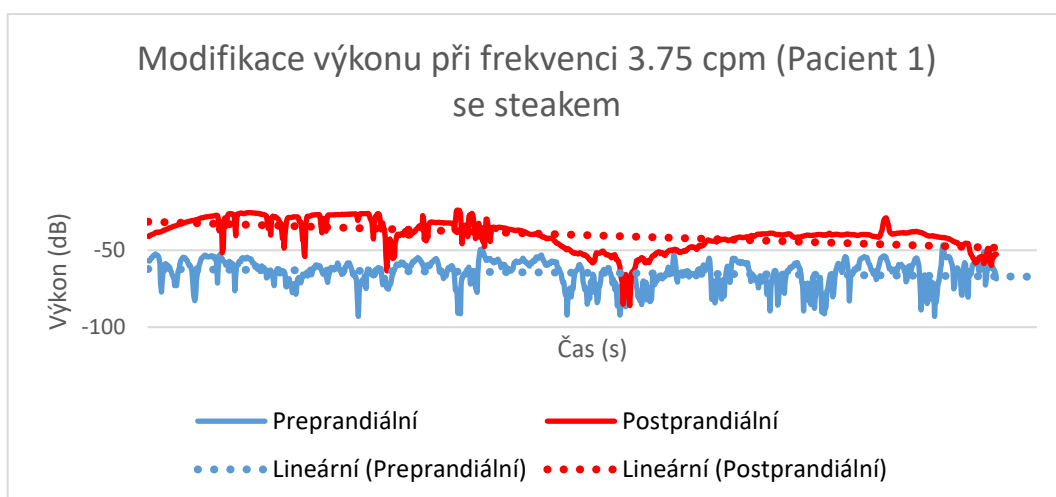
Porovnával se i výkon (intenzita v dB) v čase před jídlem a po něm, komparovaly se i odlišené testovací potraviny (viz Obrázek 51, Obrázek 52, Obrázek 53). Lze sledovat jeden fenomén, čím tužší testovací potravina, tím docházelo k menším útlumům výkonu (tzn. k jeho navýšení). Mohlo by to mít souvislost s tím, že po tekuté stravě se žaludek dostává často do bradygastrie, po tuhé může naopak do tachygastrie. Výkon se modifikoval ve stejném duchu ve všech vybraných frekvencích, proto je zde uvedena jen jedna (3.75 cpm).



Obrázek 51: Výkon v čase před a po požití jogurtu.

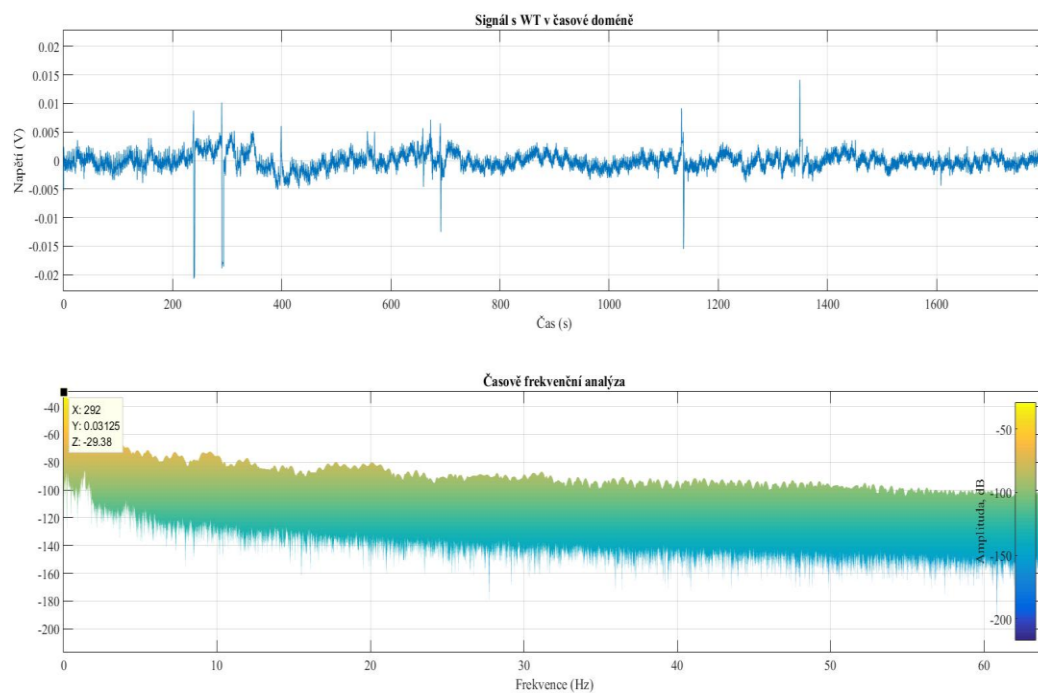


Obrázek 52: Výkon v čase před a po požití omelety s chlebem.



Obrázek 53: Výkon v čase před a po požití steaků.

Pro jasnou demonstraci toho, že výkon byl největší právě ve frekvencích blízkých elektrogastrogramu, byl vhodným způsobem natočen spektrogram, přičemž se z něj stal periodogram (optimálně nastavené parametry WT i časově-frekvenční analýzy) od Pacienta 1 po požití jogurtu (viz Obrázek 54).



Obrázek 54: Demonstrace největšího výkonu na EGG frekvenci ze spektrogramu.

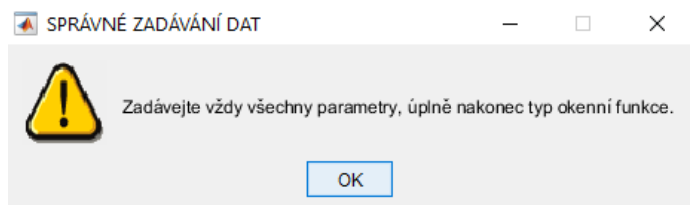
## 11 Graficko-uživatelské rozhraní

Pro lepší možnost testování parametrů pro filtraci i časově-frekvenční analýzu byl vytvořen program v prostředí MATLAB (Obrázek 56). Vždy je nutno sledovat vzorkovací frekvenci při výběru signálu, která je uvedena v názvu EGG, pak stačí zvolit jen stejnou frekvenci v GUI, aby odpovídala časová osa. Databáze je utvořena tak, že jsou uloženy elektrogastrogramy různých probandů zvláště včetně všech změřených kanálů.

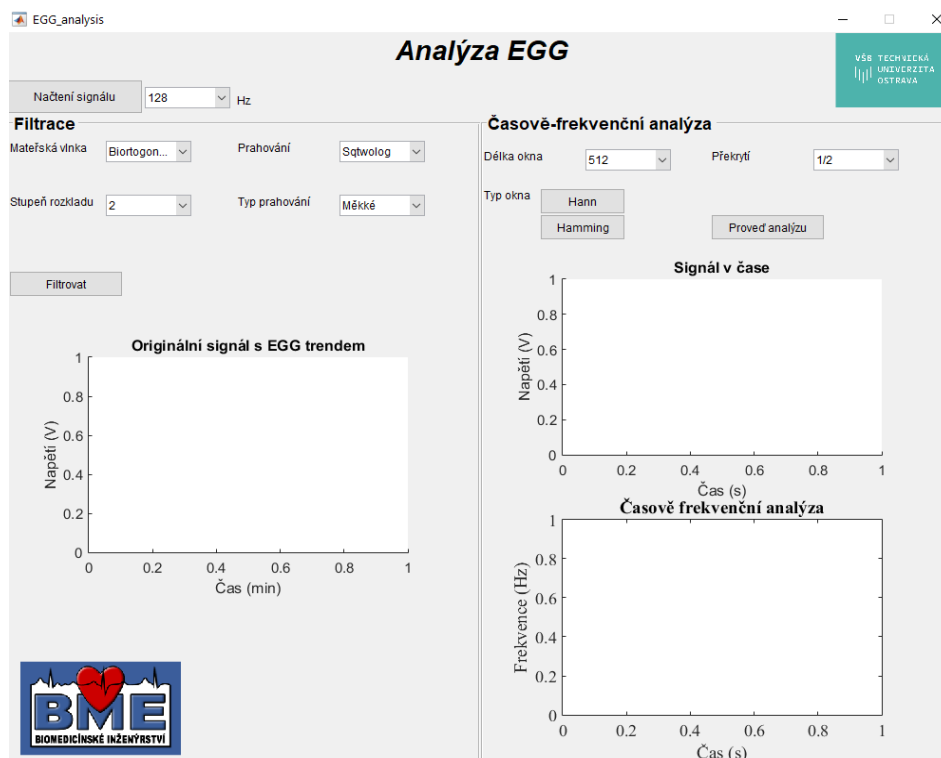
V části filtrační lze nastavit mateřskou vlnku prahovací pravidlo, typ prahování a stupeň dekompozice. Zobrazí se původní signál (u nějž byl již preventivně odstraněn artefakt z otvírání a zavírání dveří, rovněž proběhla korekce izoliny) se zvýrazněným EGG trendem (červeně). Jako výchozí je nastavena multiplikativní změna měřítka prahování s multi-odhadem šumu.

Ve druhé polovině se nastavují parametry pro časově-frekvenční analýzu, jež probíhá pomocí krátkodobé Fourierovy transformace. Je možno modifikovat typ okenní funkce, délku „okna“ a jeho překrytí (viz Obrázek 57).

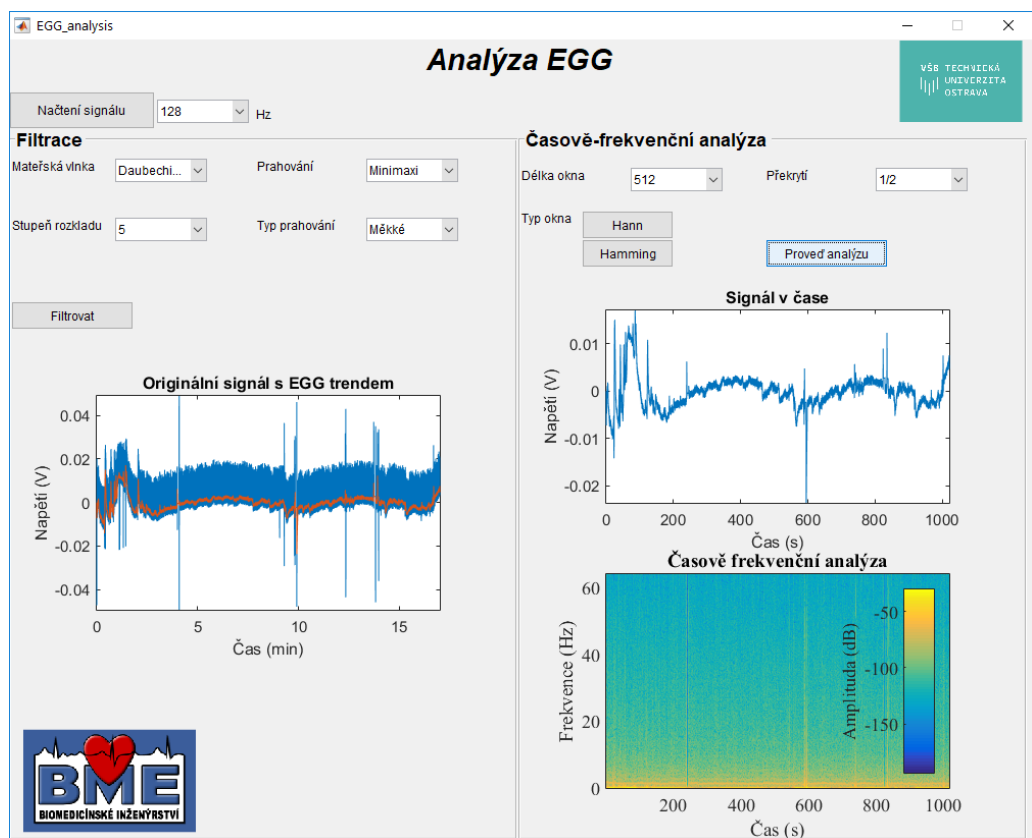
Při spuštění programu *EGG\_analysis.mat* vyskočí informační hláška, která upozorní na správné zadávání dat do GUI (viz Obrázek 55).



Obrázek 55: Informační hláška při spuštění programu.



Obrázek 56: Náhled na celé graficko-uživatelské rozhraní pro zpracování elektrogastrogramu.



Obrázek 57: Ukázka zpracování elektrogastrogramu programem EGG\_analysis.



## Závěr

Diplomová práce se zabývá filtrací EGG signálu a následnou časově-frekvenční analýzou. K nalezení trendu elektrogastrogramu a odfiltrování nasuperponovaného EKG záznamu byla použita vlnková transformace. Pro časově-frekvenční analýzu byla zvolena krátkodobá Fourierova transformace, která nestacionární záznam rozdělí na segmenty. Tyto segmenty se poté jeví jako signál stacionární, u něj se provede rychlá Fourierova transformace, a proto je získána nejen frekvenční, ale i časová složka. Celá práce je zpracovávána v programu MATLAB.

Nastavení parametrů pro obě části (filtrace, časově-frekvenční analýza) bylo testováno na dvou různých datasetech. Oba byly pořízeny na biozesilovači g.USBamp firmy g.tec, jeden je snímán dvoukanálově, druhý čtyř-kanálově (viz Tabulka 6).

U vlnkové transformace bylo testováno 6 mateřských vlnek (Haar, Daubechies, Mayer, Coiflet, Symlet a Biortogonální vlnka). Ačkoli všechny vlnky dosahovaly uspokojivých výsledků, nejlepšího účinku docílila s velkou převahou vlnka Daubechies (Obrázek 36, Obrázek 37). Evaluace probíhala pomocí korelace, střední kvadratické chyby a euklidovské vzdálenosti, kdy se k signálu původnímu přidal Gaussovský bílý šum o různě velkých intenzitách (viz Obrázek 35). Výsledky hodnocení vlnky Daubechies můžete vidět v tabulce (Tabulka 8), hodnoty střední kvadratické chyby a euklidovské vzdálenosti obou signálů (původního a zatíženého šumem) se výrazným způsobem nelišily u ostatních testovaných vlnek, proto nejsou v práci tyto parametry již zmíněny, jsou ale přiloženy v příloze. Byla ověřována nejlepší nastavení u stupně dekompozice (2, 5 nebo 10), prahovacího pravidla (univerzální, pomocí maxim a minim...), typu prahování (tvrdé, měkké prahování) a multiplikativní změna měřítka prahování (bez, odhad pomocí jedné hladiny či vícero hladin šumu). Jako nejvhodnější stupeň rozkladu se jevil 5. dle vizuální stránky, prahovací pravidlo bylo zvoleno univerzální, avšak pravidlo pomocí maxim a minim rovněž nedosahovalo špatných výsledků (Obrázek 38). Prahování využívající fuzzy logiku bylo dle očekávání vhodnější (Obrázek 39) a nakonec u multiplikativní změny měřítka prahování bylo vybráno nastavení, které se řídí podle více odhadů šumu. Tento krok nebyl neoptimálnější, ovšem byl doladěn následnou aplikací mediánového filtru o velikosti jádra 50 (vzorkovací frekvence EGG – 128 nebo 256 Hz). Pro budoucí testování se doporučuje použít nastavení bez změny měřítka (viz Obrázek 40).

Mediánový filtr byl použit z toho důvodu, že dokázal eliminovat důsledky z nevhodného nastavení parametrů u vlnkové transformace. Názorným důkazem je např. zvolený stupeň rozkladu, viz Obrázek 42, Obrázek 43.

U časově-frekvenční analýzy byla testována 2 „okna“ (Hann, Hamming), zdali nebude jedno z nich vykazovat lepší výsledky. Dle evaluace původního spektra a spektra vzniklého ze zašuměného původního signálu s aditivním bílým šumem o různých výkonech (stejně jak u WT) se došlo k závěru, že okenní funkce dosahují téměř stejných výsledků. Bylo nutno uvažovat o nastavení délky „okna“ a jeho překryvu. Díky tomu, že nelze získat perfektní časovou i frekvenční složku kvůli Heisenbergova principu neurčitosti, byla vybrána délka „okna“ 512 se 75% překryvem. Toto nastavení se jeví jako „zlatý“ střed pro následující analýzu spektra, kde byl vyjmut kmitočet 3.75 cpm a sledován průběh výkonu (dB) v čase před/po jídle s odlišnými testovacími jídly. Čím tužší strava byla požitá, tím vyšší výkon byl zaznamenán v postprandiálním signále oproti záznamu nalačno (Obrázek 51, Obrázek 52,

Obrázek 53). Tento výkon by mohl být spojen s obecnou klasifikací pomalých vln žaludku – bradygastrie, normogastrie a tachygastrie.

V poslední kapitole bylo vytvořeno GUI, které může sloužit k názorné demonstraci nastavení vhodných parametrů ať už v části filtrační nebo časově-frekvenční analýzy.

V Příloze I naleznete celou databázi elektrogastrogramů, vytvořený software (*EGG\_analysis*), všechny použité algoritmy a další grafické výstupy, jež nebyly vloženy do práce, ku příkladu: detekce trendu EGG signálu s celou evaluací zašuměných a původních signálů, časově-frekvenční analýza nefiltrovaných a filtrovaných signálů, mapování výkonu.

Budoucí směr této práce by se měl ubírat cestou, kde se budou hodnotit dominantní frekvence, dominantní výkony z preprandiálního a postprandiálního záznamu z výkonové spektrální analýzy a další parametry, jež byly zmíněny v jedné vědecké studii v rešeršní části (viz 7.3). Bude ovšem zapotřebí signály buď řádně odfiltrovat od všech „nepotřebných“ frekvencí (kmitočet zájmu 1–10 cpm), další alternativou může být nové měření s jiným biozesilovačem, který bude umožňovat lepší volby nastavení filtrace nebo by mohla být snížena vzorkovací frekvence až na 32 Hz (což g.USBamp umožňuje). Čím nižší vzorkovací kmitočet, tím by mohl být elektrogastrogram méně zatížen šumem (artefakty). Pro zvýšení pravděpodobnosti, že bude správně snímán EGG záznam, by se mohlo použít ultrazvukové zařízení, které by našlo umístění žaludku a díky tomu by se individuálně nalepovaly elektrody. Mělo by se myslet rovněž na to, že žaludek může mírně měnit svou polohu (děje se tomu u zátěžových testů), a proto by se zvolila větší distance mezi elektrodami. Nakonec je nutno zvážit, v jakém prostředí se bude měřit kvůli EMC (elektromagnetické kompatibilitě). Experimentální měření bylo ve velké míře ovlivněno právě tímto rušením z ostatních přístrojů v laboratoři.

## Seznam literatury

- [1] ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0143-x.
- [2] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 3., dopl. a rozš. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-788-5.
- [3] KITTNAR, Otomar. *Fyziologické regulace ve schématech*. Praha: Grada, 2000. ISBN 80-7169-782-6.
- [4] ŠVÍGLEROVÁ, Jitka a Jana SLAVÍKOVÁ. *Fyziologie gastrointestinálního traktu*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-802-4615-264.
- [5] SILBERNAGL, Stefan a Florian LANG. *Atlas patofyziologie člověka*. Vyd. 1. české. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-7169-968-3.
- [6] ŠIMÍČEK, Jaroslav a Vladislava ZAVADILOVÁ. *Civilizační nemoci: vybrané kapitoly pro bakaláře*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1205-3.
- [7] PYRAMIDA FZV: Česká potravinová pyramida. *Fórum zdravé výživy, z.s.* [online]. 2013 [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <http://www.fzv.cz/pyramida-fzv/>
- [8] ŠTOVÍČEK, MUDr. Jan, MUDr. Šárka MALÁ a MUDr. Marcela PIPKOVÁ. Zdravotnictví a medicína: Gastroenterologické problémy pacientů s diabetes mellitus. *Mladá fronta a.s.* [online]. Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta a Fakultní nemocnice v Motole, Interní klinika, 2014 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/gastroenterologicke-problemy-pacientu-s-diabetes-mellitus-474960>
- [9] ROKYTA, Richard. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.
- [10] PENHAKER, Marek. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3.
- [11] KOCH, Kenneth L a Robert Morris STERN. *Handbook of electrogastrography*. New York: Oxford University Press, 2004.
- [12] PIPKOVÁ, M., Š. MALÁ, J. ŠTOVÍČEK, M. HONKA a M. KVAPIL. *Klinická a experimentální gastroenterologie: Diagnostika poruch evakuace žaludku u diabetiků s diabetickou autonomní neuropatií* [online]. Interní klinika 2. LF UK a FN v Motole, Praha, 2013, 488-493 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-gastro/2013-6/diagnostika-poruch-evakuace-zaludku-u-diabetiku-s-diabetickou-autonomni-neuropatii-46966>
- [13] MOHYLOVÁ, Jitka a Vladimír KRAJČA. *Zpracování biosignálů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008] [cit. 2018-11-11]. ISBN 978-80-248-1491-9.
- [14] ANISIMOVA, Elena, Jan BEDNÁŘ a Petr PÁTA. Zpracování obrazu pomocí vlnkové transformace. *Elektrorevue* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra radioelektroniky, 2013, (4), 237-246 [cit. 2018-12-05]. ISSN 1213-1539. Dostupné z:

<http://www.elektrorevue.cz/cz/download/zpracovani-obrazu-pomoci-vlnkove-transformace--image-processing-using-the-wavelet-transform-/>

[15] ALEGRIA, Omar Chavez, Martin VALTIERRA-RODRIGUEZ, Juan P. AMEZQUITA-SANCHEZ, Jesus Roberto MILLAN-ALMARAZ, Luis Mario RODRIGUEZ, Alejandro Mungaray MOCTEZUMA, Aurelio DOMINGUEZ-GONZALEZ a Jose Antonio CRUZ-ABEYRO. Empirical Wavelet Transform-based Detection of Anomalies in ULF Geomagnetic Signals Associated to Seismic Events with a Fuzzy Logic-based System for Automatic Diagnosis. BALEANU, Dumitru, ed. *Wavelet Transform and Some of Its Real-World Applications* [online]. InTech, 2015, 2015-12-09 [cit. 2019-03-13]. DOI: 10.5772/61163. ISBN 978-953-51-2230-2. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/wavelet-transform-and-some-of-its-real-world-applications/empirical-wavelet-transform-based-detection-of-anomalies-in-ulf-geomagnetic-signals-associated-to-se>

[16] BERTOLUZZA, Silvia, Claudio CANUTO a Anita TABACCO. Stable Discretizations of Convection-Diffusion Problems via Computable Negative-Order Inner Products. *SIAM Journal on Numerical Analysis* [online]. 2000, **38**(3), 1034-1055 [cit. 2019-03-13]. DOI: 10.1137/S0036142999362298. ISSN 0036-1429. Dostupné z: <http://epubs.siam.org/doi/10.1137/S0036142999362298>

[17] HORÁK, David. DISKRÉTNÍ TRANSFORMACE. *Mi21.vsb* [online]. Katedra aplikované matematiky VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/diskretni\\_transformace\\_obraz.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/diskretni_transformace_obraz.pdf)

[18] ŠMÍD, Radislav. Úvod do vlnkové transformace [online]. In: Praha 6, 2001, s. 9 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/groups/diag/download/Wavelet-intro8859.pdf>

[19] LITSCHMANNOVÁ, Martina. Náhodný vektor. *Am-nas.vsb.cz* [online]. VŠB-TUO [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [http://am-nas.vsb.cz/lit40/PRASTA/Prezentace/STA\\_4\\_nahodny\\_vektor.pdf](http://am-nas.vsb.cz/lit40/PRASTA/Prezentace/STA_4_nahodny_vektor.pdf)

[20] NEUBAUER, Jiří. Základy teorie odhadu parametrů: Bodový odhad. Katedra kvantitativních metod [online]. Katedra ekonometrie, FVL, UO Brno [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [https://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/bodovy\\_odhad.pdf](https://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/bodovy_odhad.pdf)

[21] FIŠNAROVÁ, Simona. Euklidovský prostor. Funkce. Limita.: Vyšší matematika, Inženýrská matematika. *Kiwi.mendelu.cz* [online]. LDF MENDELU BRNO [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://user.mendelu.cz/fisnarov/imt/prednasky/funkce.pdf>

[22] Introduction to Wavelet Families. MathWorks.com [online]. United States: The MathWorks, 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/wavelet/gs/introduction-to-the-wavelet-families.html>

[23] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice: učební text: studijní materiály pro studijní obor Měřicí a řídicí technika, Elektronika Fakulty elektrotechniky a informatiky. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2596-0.

[24] PALKO, Lukáš. Úvod do Gaborovy transformace a její srovnání s vlnkovou transformací: Krátkodobá Fourierova transformace (STFT). *Elektrorevue* [online]. Brno, 2006 [cit. 2019-04-11].

Dostupné z:  
[http://www.elektrorevue.cz/clanky/06033/index.html#\\_Kr%C3%A1tkodob%C3%A1\\_Fourierova\\_transformace](http://www.elektrorevue.cz/clanky/06033/index.html#_Kr%C3%A1tkodob%C3%A1_Fourierova_transformace)

[25] GUTIERREZ-OSUNA, Ricardo. STFT: Fourier analysis view. Introduction to Speech Processing [online]. 2002 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z:  
<http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/sp/l6.pdf>

[26] HOLČÍK, Lukáš. Spektrální analýza hudební skladby. Brno, 2009. Diplomová práce. Fakulta informatiky Masarykovy Univerzity.

## Seznam příloh

Příloha I    Obsah CD

## Příloha I

- Diplomová práce
- Ukázky vyvinutých a použitých algoritmů
- GUI – *EGG\_analysis*
- Databáze EGG signálů
- Detekce trendu EGG signálu
- Časově-frekvenční analýza nefiltrovaných x filtrovaných signálů
- Testování okenních funkcí
- Mapování výkonu z časově-frekvenční analýzy